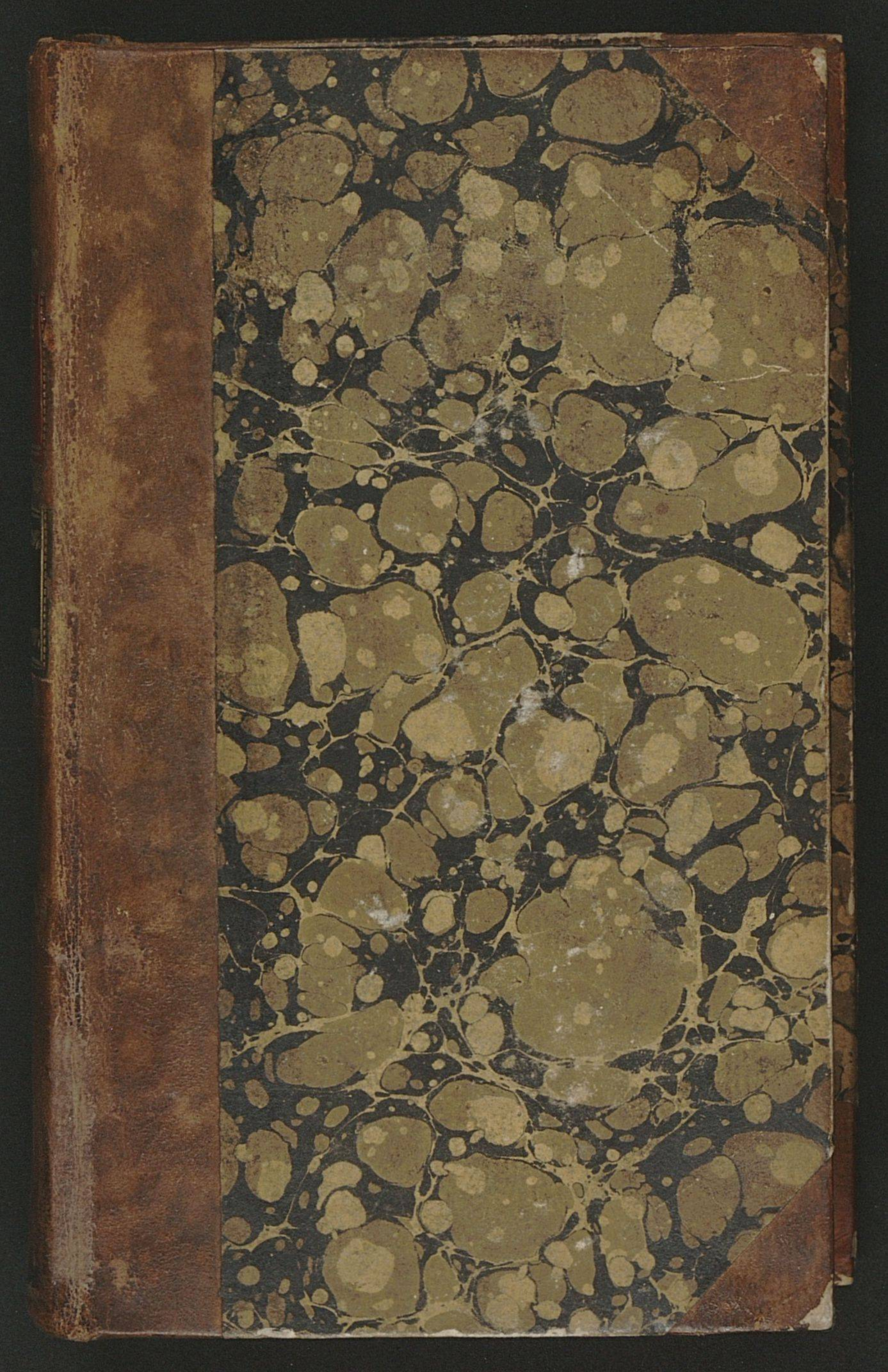


LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

Par M. l'Abbé NOLLET, *de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, Maître de Physique des Enfans de France, Professeur Royal de Physique Expérimentale au College de Navarre, & à la nouvelle École d'Artillerie de la Fere.*

TOME SECOND.

CINQUIEME ÉDITION.



A PARIS,
Chez HIPPOLYTE-LOUIS GUERIN, & LOUIS-FRANÇOIS DELATOUR, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LIX. [1759]

Avec Approbation & Privilege du Roi.


BIBLIOTHÈQUE·EPF
LAUSANNE

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de maniére qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entiérement du livre, & se voir à droite, dans l'ordre qui suit.

Tome Premier.

	CVIII. *page*	*planche* *
I. Leçon.	34	1
	50	2
	60	3
	80	4
II. Leçon.	96	1
	120	2
	136	3
	176	4
III. Leçon.	188	1
	222	2
	258	3
IV. Leçon.	270	1
	276	2
	288	3
	300	4
	314	5
	326	6
	372	7

Tome Second.



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

V. LEÇON.

Sur le Mouvement composé, & sur les Forces centrales.

PREMIERE SECTION.

Du Mouvement composé.



N appelle *Mouvement composé*, celui d'un corps déterminé à se mouvoir par plusieurs causes ou puissances qui agissent selon des directions différentes ; tel est, par exemple, le

V. LEÇON.

V. LEÇON.

mouvement d'un bateau qui s'entretient dans la direction du canal *A B*, en obéissant en même-tems aux deux puissances *C*, *D*, *Figure* 1.

Comme le mouvement simple a ses loix, le mouvement composé a aussi les siennes ; elles peuvent toutes se rapporter à une seule qui est énoncée dans la proposition suivante, & dont elles ne sont que des conséquences.

Loi du Mouvement composé.

QUAND *un corps est mis en mouvement par plusieurs puissances qui agissent en même tems, & selon différentes directions, ou il demeure en équilibre, ou bien il prend un mouvement qui suit le rapport des puissances entre elles pour la vîtesse, & il reçoit une direction moyenne entre celles des puissances ausquelles il obéit.*

Car lorsque deux puissances agissent en même tems sur un mobile, ou elles sont directement opposées comme *M A*, *M E*, *Fig.* 2. ou bien leurs directions font angle ensemble, comme *B M* & *F M*, *C M* & *G M*, &c. puisque si elles se réunissoient, comme

on le voit en *N*, il eſt évident qu'elles concourroient dans la même direction, & qu'il n'en réſulteroit qu'un mouvement ſimple, dont la vîteſſe ſeroit le produit des deux forces ; de ſorte que ſi l'une des deux étoit capable de tirer ou de pouſſer le corps *M* en *N*, les deux enſemble qu'on ſuppoſe égales, le feroient aller juſqu'en *K*.

Les deux puiſſances étant oppoſées dans la même ligne, le mobile ſur lequel elles agiſſent, demeure en équilibre entre elles, en cas d'égalité; car il n'eſt pas poſſible qu'il aille en même tems à droite & à gauche ; & pourquoi ſe porteroit-il d'un côté plutôt que de l'autre, s'il éprouve d'une part autant de réſiſtance qu'il ſouffre d'impulſion de l'autre part ?

Mais ſi les puiſſances ſont inégales, le mobile obéit à la plus forte des deux, ſelon leur différence ; c'eſt-à-dire, que ſi *E* eſt à *a* comme 3 eſt à 2, le corps *M* obéit à la premiere, comme ſi ſa valeur étoit 1, différence de 3 à 2. Ainſi les puiſſances étant directement contraires, il en réſulte ou le repos ou le mouvement ſimple, mais retardé.

V. LEÇON.

Quand les puissances sont dirigées de maniere qu'elles fassent angle, ou (ce qui est la même chose) que leurs directions se croisent au mobile, comme *B b*, *F f*, alors le mouvement se compose en vîtesse & en direction, & l'une & l'autre se mesure par la diagonale du parallélogramme, par les côtés duquel les puissances sont exprimées. Expliquons ceci en considérant séparément dans la *Fig.* 3. les deux puissances *C*, *G*, & le mobile *M* de la *Fig.* 2.

Supposons donc que le corps *M* soit tiré en même tems par deux forces *C*, *G*, que nous faisons égales en les exprimant par deux lignes de même longueur : que chacune de ces lignes soit divisée en 6 espaces égaux & distingués par des chiffres & par des lettres. Imaginons que *C M* est une régle sur laquelle se fait le mouvement de haut-en-bas, pendant que cette régle se meut parallélement à elle-même sur la ligne *M G*. Il est certain que la régle mobile étant parvenue au chiffre 1. de la ligne *MG*, le corps *M* sera descendu d'une pareille quantité, & qu'il ne sera ni au

point 1, ni au point *a*, mais en *h*; de même, pendant que la régle parviendra au chiffre 2, le corps *M* descendra encore d'un espace, & se trouvera au point *k*. Ce qui continuant toujours de même pendant le mouvement paralléle de la régle sur *MG*, on voit que le mobile *M* aura passé successivement par tous les points de la ligne *Mn*, diagonale du parallélogramme, *M G n C*, dont les deux côtés *G M*, *CM*, expriment le rapport des puissances.

La longueur de cette diagonale *M n* donne la vîtesse du mouvement composé, qui, comme l'on voit, n'est jamais aussi grande que la somme des deux vîtesses qui la font naître; car *M n* n'égale pas *M G* & *M C* prises ensemble. Et si ces deux forces concouroient à pousser le mobile dans une même direction, elles lui feroient faire plus de chemin qu'il n'en fait, lorsqu'elles le sollicitent d'aller vers deux points différens. Mais en obéissant ainsi à l'une & à l'autre en même tems, il arrive par un chemin plus court au terme des deux tendances.

V. LEÇON.

Cette même ligne devient plus courte, à meſure que les directions des puiſſances font entre elles un angle moins aigu ; car dans le cas où ces puiſſances agiroient ſuivant les lignes *HM*, *DM*, *Fig.* 2. la diagonale ſeroit *MI*, plus longue que ne ſeroit *LM*, ou *OM*, ſi leurs actions étoient exprimées par *GM*, *CM*, ou bien par *BM*, *FM*.

De toutes les poſitions que peuvent prendre entre elles deux forces qui agiſſent en même tems ſur un mobile, il n'y en a qu'une qui rende leurs actions réciproquement indifférentes, c'eſt lorſque leurs directions font entre elles un angle droit, comme *CM*, *GM*, *Fig.* 3. Car celle qui agit horizontalement, tend à mener le mobile à la diſtance *G*, & il lui eſt indifférent que ce ſoit en *G*, ou en *n*, ou à tout autre point pris dans cette ligne. De même celle qui agit verticalement, demande que le mobile arrive à une diſtance égale à *MC*, & cette diſtance de haut-en-bas ſe trouve par-tout dans la ligne *Cn*. Ainſi quand l'une & l'autre force agit en même tems, chacune d'elles

s'exerce ſur le mobile, comme s'il étoit libre de la part de l'autre ; elles ne s'aident ni ne ſe nuiſent.

Mais il n'en eſt pas de même ſi l'angle que ces deux puiſſances font entre elles, eſt obtus ou aigu : dans le premier cas elles ſe détruiſent en partie, & dans l'autre elles s'entr'aident. Si, par exemple, les deux forces font entre elles l'angle *R P Q*, *Fig.* 5. le mobile vient en *S*, & la puiſſance *P R* eſt diminuée de la quantité *T Q*, ou *S t* : & au contraire ſi les puiſſances ſont dirigées de maniere qu'elles faſſent entre elles un angle ſemblable à *VXY*, *Fig.* 6. le mobile vient en *u*, & la puiſſance *X V* eſt augmentée d'une quantité égale à *Z u*, ou *Y y*.

La diagonale dont nous parlons, donne encore la direction du mouvement compoſé ; car ſi l'on applique à tout autre parallélogramme le raiſonnement que nous avons fait, lorſque nous avons ſuppoſé les puiſſances égales entre elles, comme les deux côtés d'un quarré parfait, on verra que cette ligne ne demeure également diſtante de l'une & de l'autre puiſſance, que dans le cas d'égalité ;

V. LEÇON.

& que quand les forces ſont inégales entre elles, la diagonale eſt plus inclinée à celle des deux qui eſt la plus grande, comme on peut le voir en jettant les yeux ſur la *Fig.* 4.

Il ſuit de ces principes, que ſi l'on ſçait l'angle de direction des puiſſances & leur dégré de force, on connoît auſſi l'effet qu'elles doivent produire ſur le mobile, c'eſt-à-dire, ſon dégré de vîteſſe, & le chemin qu'il doit tenir. Car on voit par les *Fig.* 3, 4, 5 & 6. que ſi l'on exprime la valeur des puiſſances, & leurs directions, par des lignes qui ſe joignent par un bout, en établiſſant un parallélogramme ſur ces deux premiers côtés, la diagonale donnera ce que l'on cherche.

Il ſuit encore, que ſi l'on connoît l'effet commun de deux puiſſances ſur un même mobile, & l'état de l'une des deux, je veux dire, ſa direction, & ſon dégré de force, on peut juger de la valeur & de la poſition de l'autre. Si je ſçais, par exemple, qu'un mobile a été porté de *P* en *S*, *Fig.* 5. par l'action de deux forces dont une eſt exprimée par *P R*, je tire la ligne *S Q* paralléle & égale

à *P R* ; & en achevant le parallélogramme, je vois que *P Q* eſt l'autre puiſſance plus petite que la premiere, & faiſant avec elle l'angle de direction *R P Q*.

V. LEÇON.

Nous allons joindre les preuves d'expériences aux explications & aux raiſons que nous venons d'expoſer; & pour procéder avec ordre, nous conſidérerons d'abord les effets de deux puiſſances directement contraires, & nous verrons enſuite comment ſe compoſe le mouvement produit par deux forces dont les directions ſe croiſent au centre du mobile.

Nous ſuppoſons encore que le rapport des forces demeure conſtant; c'eſt-à-dire, que pendant tout le tems qu'elles agiſſent ſur le mobile, il n'arrive à l'une des deux aucun changement qui la faſſe plus ou moins différer de l'autre, en ſorte que ſi elles ſont égales en commençant, cette égalité perſévère juſqu'à la fin; ce qui peut fort bien ſubſiſter avec des affoibliſſemens cauſés par la réſiſtance des milieux, ou par des frottemens, pourvû que ces changemens ſoient égaux de part & d'autre.

V. Leçon.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 7. repréſente une table ronde, ou un guéridon, qui porte en ſa circonférence des poulies de renvoi, comme *A*, *B*; on fait paſſer ſur ces poulies deux cordes *CAE*, *CBD*, qui tiennent d'une part au mobile *C*, & qui ſoutiennent de l'autre part un poids de plomb *D*, *E*.

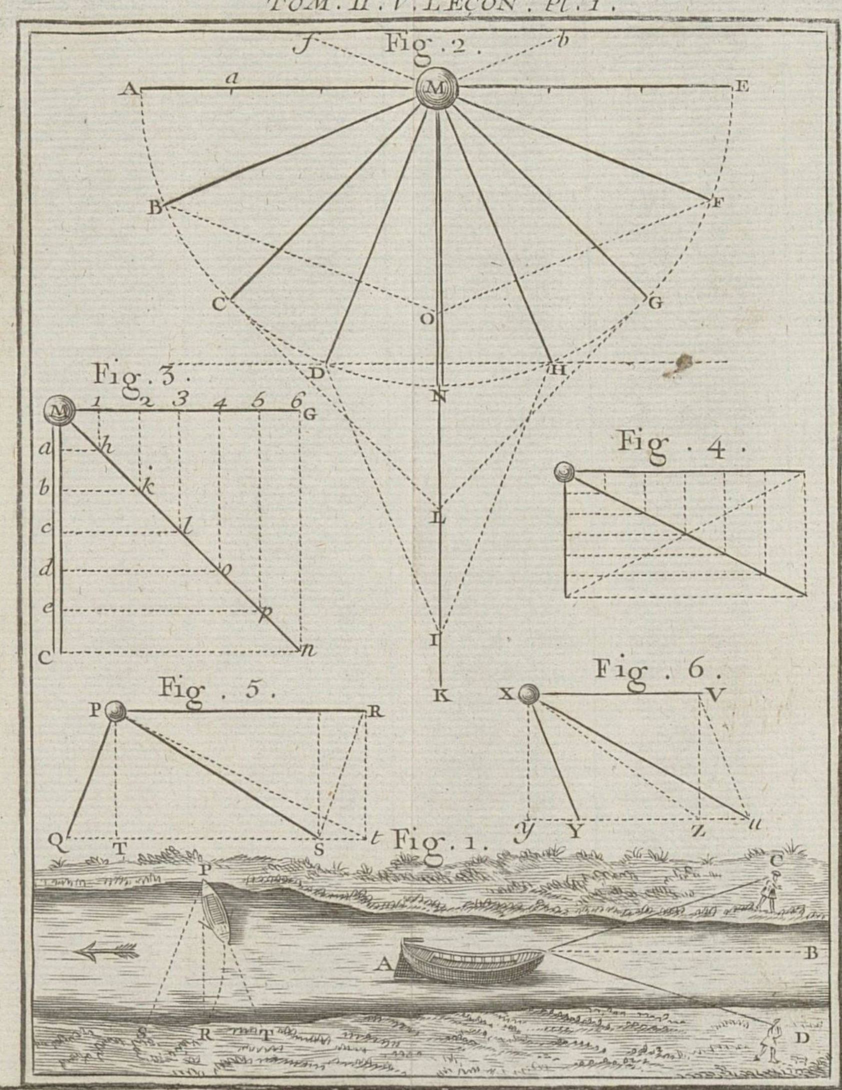
Effets.

Si les deux poids ſont égaux, le corps *C* demeure en équilibre, partout où il ſe trouve dans la ligne *AB*; ſi le poids *E* péſe 2 onces, & que *D* n'en péſe qu'une, le corps *C* eſt emporté vers *A*, comme ſi *E* peſoit 1 once, & qu'il n'y eût aucune réſiſtance en *D*: ce qui ſe reconnoît en expoſant ſous ſa chûte une cuvette remplie de terre molle, dans laquelle il fait un enfoncement qu'on peut meſurer & comparer.

Explications.

On appelle *équilibre* en général, l'é-

TOM. II. V. LEÇON. Pl. 1.



Dheulland del. et Sculp.

tat d'un corps qui eſt ſollicité de ſe mouvoir en deux ſens oppoſés avec des forces égales ; cette double tendance ne peut avoir ſon effet, à cauſe que les forces qui la produiſent de part & d'autre, ſont égales ; c'eſt pourquoi autant que dure cette égalité, le mobile demeure en repos. C'eſt auſſi la raiſon pour laquelle le corps *C* de notre expérience demeure partout où il ſe trouve, dans la ligne qui joint les deux puiſſances, lorſque les poids *E* & *D* ſont égaux.

Mais ſi l'un des deux vient à s'augmenter, l'équilibre eſt rompu auſſi-tôt, & le mobile obéit au plus fort. Il ne lui obéit cependant que ſuivant l'excès qu'il a ſur le plus foible ; car la réſiſtance de celui-ci n'eſt point anéantie, elle ſubſiſte toujours, & ſon effet eſt de conſumer une force contraire & égale à la ſienne ; ainſi quand le mobile *C* eſt emporté par le poids *E*, ce ne peut être que par la quantité dont ce dernier ſurpaſſe l'autre.

APPLICATIONS.

Tous les corps qui ſont preſſés ou retenus entre une puiſſance & un

V. LEÇON.

point d'appui, ſont autant d'exemples qui repréſentent ce que nous venons de prouver par l'expérience précédente : car nous ſçavons par la troiſiéme loi du mouvement ſimple, que la réaction eſt égale à l'action ou à la compreſſion ; ainſi quand un Menuiſier ſerre un morceau de bois entre ſon établi & le valet, c'eſt le fixer entre deux puiſſances égales : on doit dire la même choſe d'un morceau de fer retenu dans l'étau d'un Serrurier ; d'une corde tendue entre deux points fixes ; d'un bateau attaché à un pieu pour réſiſter à la violence du courant, &c.

Deux poids égaux ſont en équilibre, & par conſéquent demeurent en repos aux deux bouts d'une corde qui embraſſe une poulie, tant que cette corde eſt égale de part & d'autre ; car alors chaque poids eſt autant tiré en en-haut par ſon antagoniſte, qu'il l'eſt en en-bas par ſa propre maſſe. Mais ſi la corde devient plus longue d'un côté que de l'autre, l'équilibre ne ſubſiſte plus ; la peſanteur de la quantité excédente eſt une nouvelle puiſſance qui aide à deſcendre

celui des deux poids qui eſt le plus bas. Et c'eſt une choſe à laquelle on doit faire attention, quand on conſtruit des machines pour tirer de l'eau, des pierres, des mines, &c. de ſouterrains très-profonds ; ou pour élever des fardeaux à des hauteurs conſidérables ; ſi l'on oublioit de faire entrer en compte le poids des cordes, on tomberoit ſouvent dans l'erreur ; car ces cordes ſont ordinairement très-peſantes, & quand elles ſont étendues de toute leur longueur, elles ajoutent beaucoup à la réſiſtance qu'on s'eſt propoſé de vaincre ; on s'en apperçoit ſenſiblement, quand on tire d'une grande profondeur un ſceau plein d'eau ; on a plus d'effort à faire, quand il commence à monter, que lorſqu'il arrive en-haut.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui eſt repréſentée par la *Fig*. 8. eſt un plan vertical d'un pied en quarré, élevé ſur une baſe : en *H* eſt un point fixe, auquel eſt attaché un fil qui paſſe ſur une poulie *G*,

V. LEÇON.

& qui porte à ſon extrémité un plomb *F*. La poulie *G* eſt mobile ſur deux fils de laiton tendus parallélement d'*H* en *I*, & on la tire avec un fil qui paſſe ſur une autre poulie fixée en *I*.

Effets.

Lorſqu'on tire la poulie de *G* en *I*, le poids monte par la diagonale *F I*.

Explications.

Le corps *F* eſt mis en mouvement par deux puiſſances, dont une exige qu'il s'éléve d'une hauteur égale à *F G* ; & l'autre, qu'il s'avance d'une longueur égale à *G I*. Car le point fixe qui arrête le bout du fil en *H*, & qui cauſe l'élévation du mobile *F*, doit être regardé comme une puiſſance égale à celle qui tire la poulie mobile vers le point *I*. Si ces deux forces avoient leurs effets ſéparément, le plomb parcourroit ſucceſſivement les deux lignes *FG* & *GI*; mais parce qu'elles agiſſent en même tems, & qu'elles ſont égales entre elles, le mobile s'avance autant & à meſure qu'il monte, ce qui fait qu'il ſe meut dans la diagonale *F I*.

Cette expérience fait aſſez bien voir ce que nous avons donné comme une ſuppoſition dans la *Fig.* 3. Car le fil *FG*, qui tient le plomb ſuſpendu, repréſente la régle mobile qu'on peut regarder comme diviſée en 6 parties égales, & qui diminue de longueur, à meſure qu'elle s'avance ſur chacune de ſes paralléles marquées ſur le plan: c'eſt la même choſe que le corps *F* monte en s'avançant ſur le fil, ou que ce fil, au bout duquel il eſt fixé, diminue de longueur ; s'il diminue donc d'une partie, lorſqu'il ſera parvenu à la premiere paralléle, le plomb ſera en *a* : s'il diminue encore d'une partie en s'avançant à la ſeconde paralléle, le plomb ſe trouvera en *b*, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'enfin le mobile ait parcouru toute la ligne *FI*.

APPLICATIONS.

Les vols qu'on imite à l'Opéra & dans les autres lieux de ſpectacles, s'exécutent par une méchanique aſſez ſemblable à celle que nous avons employée dans l'expérience que nous venons d'expliquer ; on a ſoin ſeulement

V. LEÇON.

de proportionner les piéces aux efforts qu'elles doivent ſoutenir, & pour cacher le plus qu'il eſt poſſible les cordes aux yeux du Spectateur, on les fait avec des fils de laiton aſſez menus, & en aſſez grand nombre, pour concilier en même tems la force & la flexibilité.

L'uſage apprend à un Batelier, que ce n'eſt point par la ligne la plus courte qu'il faut diriger ſon bateau ſur la riviere pour arriver au point le moins éloigné du rivage oppoſé ; il ſçait que s'il tendoit de *P* en *R*, *Fig.* 1. il arriveroit en quelque endroit au-deſſous, comme en *S* ; il ſe dirige vers *T*, & la force du courant le raméne peu-à-peu, en lui faiſant décrire une ligne courbe.

La raiſon de cet effet ſe préſente d'elle-même, quand on fait attention que le bateau pouſſé dans une direction qui n'eſt point celle du courant, compoſe ſon mouvement des deux forces dont il éprouve l'action : auſſi voit-on que quand l'une des deux augmente, il faut que l'autre croiſſe par proportion, ſi l'on veut conſerver le même effet. Si la crûe des

eaux

eaux rend le courant plus rapide, il faut travailler davantage pour arriver au même but, ou bien il faut diriger le bateau plus haut, & ce dernier parti eſt celui que nous voyons prendre aux Bateliers établis ſur les ports pour le paſſage public.

V. LEÇON.

Les poiſſons nous fourniſſent un exemple de mouvement compoſé, aſſez remarquable : lorſqu'ils veulent aller de côté ou d'autre, ils frappent l'eau d'un coup de queue ; le fluide ne cédant point auſſi vîte qu'il eſt frappé, ſert de point d'appui au corps du poiſſon pour ſe tourner à droite ou à gauche. Mais quand l'animal veut aller en avant, ce mouvement eſt toujours précédé de deux coups de queue ſubitement frappés, & en ſens contraires ; le corps alors prend un mouvement compoſé de ces deux impulſions, il ne va ni à droite, ni à gauche, mais dans une direction qui tient le milieu entre l'une & l'autre.

Cette maniere d'aller en avant par des mouvemens obliques, & oppoſés les uns aux autres, ſe peut obſerver encore dans la plûpart des reptiles, comme les ſerpens, couleuvres,

V. LEÇON.

vipères, &c. l'habitude qu'ont ces animaux d'employer ces deux mouvemens, & de les combiner ensemble, leur donne la facilité non-seulement de fuir avec une grande vîtesse, mais même de tromper ceux qui les poursuivent par des détours fort adroits.

Les oiseaux, & la plûpart des insectes aîlés, composent aussi leurs vols, quand il s'agit de tourner; c'est en battant d'une aîle, ou plus fortement, ou plus fréquemment que de l'autre : c'est une observation qu'on peut faire aisément en regardant voler un papillon ; l'irrégularité de ses mouvemens est un effet & une preuve très-sensible de l'action inégale de ses aîles.

L'art imite en quelque sorte ce méchanisme naturel avec lequel les animaux composent leurs mouvemens. Nous voyons tous les jours arriver sur la Seine des bateaux de foin & autres, qui n'ont d'autres moteurs que le courant de la riviere, & un petit aviron court & un peu large, qu'un homme fait mouvoir continuellement de droite à gauche, & de gauche à droite,

à-peu-près comme la queue d'une carpe qui nâge en avant.

Mais une imitation bien parfaite & bien curieuſe de ces mouvemens compoſés, c'eſt l'appareil & la manœuvre admirable d'une galère, où l'on voit le bon ordre & l'habitude employer avec une adreſſe inexprimable pluſieurs rangs de rames pour varier les vîteſſes & les directions du vaiſſeau ſelon le beſoin.

III. EXPERIENCE.

Preparation.

ABCD, *Fig.* 9. eſt un petit billard, au bout duquel s'éléve perpendiculairement un chaſſis qui porte deux aîles tournantes *E F*; à chacune de ces aîles, eſt ſuſpendu un marteau d'ivoire qui ſe meut librement autour du point G. On dirige les marteaux comme l'on veut, en tournant plus ou moins les aîles qui les portent, & l'on régle leurs vîteſſes dans tel rapport que l'on ſouhaite, en les faiſant tomber par des arcs plus ou moins grands, mais toujours en même tems ſur une bille d'ivoire placée en *H*.

V. LEÇON.

EFFETS.

Quand les marteaux ont des vîtesſes égales, & que les aîles ſont également inclinées à la ligne *HI*; la bille après le choc, ſuit cette derniere direction. Si les deux coups ſont inégaux, ou les directions différemment inclinées, la bille décrit une ligne qui s'écarte plus ou moins de *HI*, comme *HB*, ou *HK*, ſelon le rapport des forces qui l'ont déterminée à ſe mouvoir.

EXPLICATIONS.

Cette expérience doit s'expliquer de même que la précédente : un des marteaux qui agiroit ſeul, chaſſeroit la bille dans ſa direction ; elle iroit donc vers *M* ou vers *N* ; mais quand ils agiſſent tous deux en même tems ; comme il n'eſt pas poſſible qu'un même mobile ſe porte à la fois vers deux points oppoſés, la bille ainſi frappée prend un mouvement qui participe des deux vîteſſes & des deux directions. Ce qu'on voit de plus par cet exemple, c'eſt que deux forces une fois imprimées par des cauſes qui

cessent d'agir ensuite, ont le même effet, & composent le mouvement du mobile, comme si leurs actions étoient continues; car on a dû remarquer que deux coups de marteaux opèrent sur la bille, ce que les deux fils tirés en même tems ont fait sur le plomb de la seconde expérience.

APPLICATIONS.

Ce que l'on jette par la portiére d'un carrosse qui roule, ou sur le rivage, quand on est dans un bateau emporté par le courant, ou bien de côté en courant à cheval, n'arrive jamais au but qu'on s'est proposé, si l'on n'a égard qu'à la seule impulsion du bras. Car outre celle-ci, on doit encore compter sur le mouvement de la voiture, du bateau, ou du cheval, qui est commun au mobile & à la main; c'est pourquoi quand on saute hors d'un carrosse ou d'un bateau en mouvement, on doit s'attendre de tomber au-dessous de l'endroit qu'on a vis-à-vis de soi à l'instant qu'on s'élance. Mais on ne doit pas croire que les accidens qui arrivent en pareil cas, viennent de ce que le mouve-

V. LEÇON.

ment composé devenant plus oblique, ne porte pas le corps assez loin pour toucher terre, ou pour échapper à la roue ; car on peut voir par la *Fig.* 3. que si la ligne *MC*, représente le corps de la voiture, l'extrémité *n* de la diagonale en est aussi loin que le point *G*; mais le mal vient de ce qu'on ne prend point toute la vîtesse qu'on croit prendre, parce qu'on a pour point d'appui un plan qui n'est point fixe, & dont le mouvement occasionne souvent une chûte inopinée.

Un noyau pressé obliquement,& qui s'échappe des doigts, est encore un exemple bien familier du mouvement composé de deux impulsions dont les effets subsistent, & conservent leurs rapports, quoique les causes ayent cessé d'agir. Ce fait en rappelle un autre qui est moins commun, mais qui n'est guère ignoré des joueurs de billard. Si du tranchant de la main, on frappe une bille hors du plan de son équateur, qui est perpendiculaire au tapis sur lequel elle est posée ; elle s'échappe d'abord en avant, comme le noyau pressé obliquement de deux

côtés ; mais ce qui paroît ſingulier c'eſt qu'après avoir ainſi avancé de 8 ou 10 pouces, elle revient en roulant vers le lieu de ſon départ.

Ce fait s'explique aiſément, quand on fait attention qu'en frappant la bille de la maniere qu'on l'a dit, on lui a fait prendre deux ſortes de mouvemens ; ſçavoir, un en ligne droite, qu'elle a ſuivi d'abord, & un autre de rotation ſur elle-même, & dans un ſens contraire à ſon mouvement direct ; comme il arrive à une poulie ſuſpendue dans une chape, ſi l'on en frappe le bord obliquement. Ce dernier mouvement ne s'apperçoit pas tant que la bille ne touche point le tapis, ou qu'elle gliſſe deſſus avec trop de vîteſſe : mais quand le mouvement direct eſt aſſez rallenti par les frottemens, & qu'elle vient à poſer ſur le tapis, le mouvement de rotation qui ſe fait en ſens contraire, la raméne vers le lieu d'où elle eſt partie ; car il n'eſt pas poſſible qu'une boule tourne ſur un plan, ſans changer de place, ſi elle touche ce plan par l'équateur de ſa rotation, à moins qu'on ne ſuppoſât des ſurfaces ſans

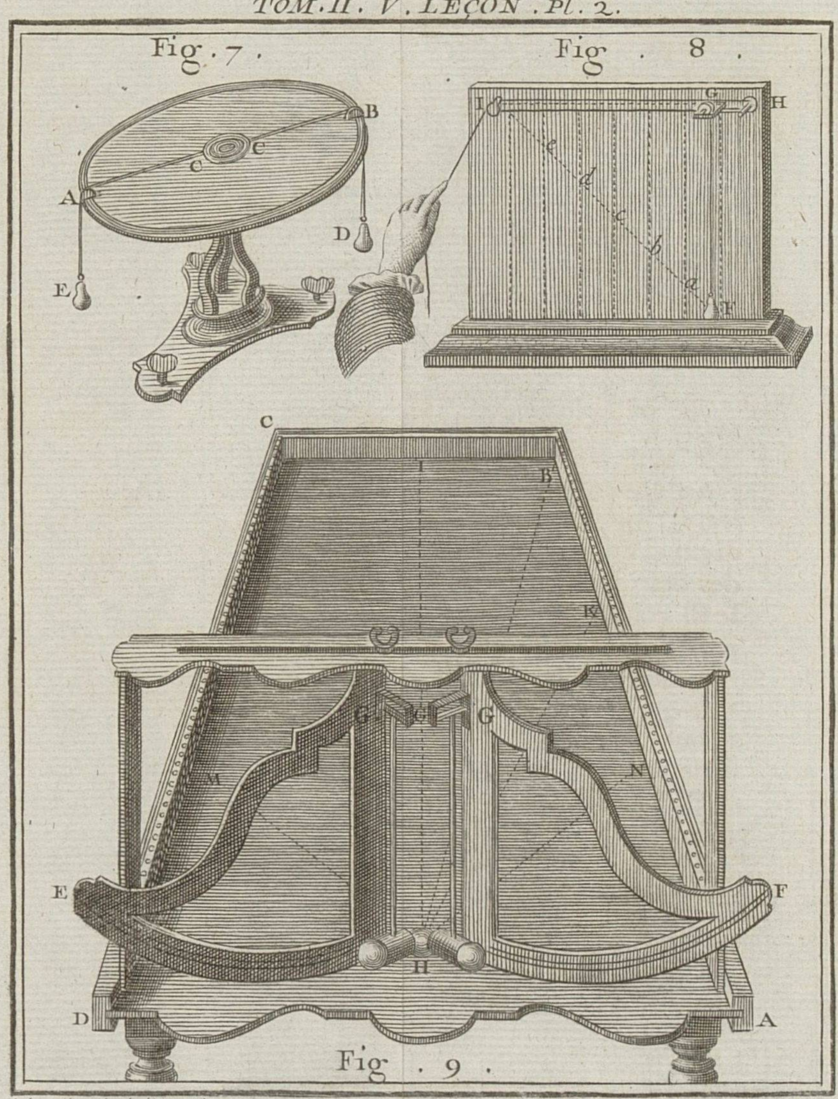
frottement, ce qui ne se trouve pas dans l'état naturel.

V. LEÇON.

Jusqu'ici nous avons considéré le mouvement composé de plusieurs forces, qui gardent entre elles un rapport constant; nous allons maintenant examiner de quelle maniere le mouvement se compose, quand ces rapports changent. Quand, par exemple, de deux puissances qui agissent en même tems, l'une devient plus forte ou plus foible, ou bien, (ce qui revient au même,) quand un mobile ayant reçu deux impulsions qui composent son mouvement, il se trouve des causes étrangères ou accidentelles, qui diminuent, ou qui augmentent l'une des deux; comme si, par exemple, le fil *F H*, *Fig.* 8. de la seconde expérience, au lieu de se raccourcir toujours d'une partie, à mesure qu'il arrive à chacune des paralléles, diminuoit d'abord d'une, ensuite d'une & demie, &c. ou au contraire.

On a pu remarquer par les preuves & par les exemples que nous avons rapportés, que le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, toutes les fois que le mobile obéit

à



Vheullaud del. et Sculp.

à deux puiſſances qui perſévèrent dans le même rapport entre elles ; ſoit qu'elles ne reçoivent aucun changement, ſoit que les changemens ſoient égaux ou proportionnels de part & d'autre ; parce que les effets de chaque inſtant *Mh*, *hk*, *kl*, &c. *Fig.3.* & 4. ſe rencontrent dans la même direction, & que leur ſomme produit la diagonale *Mn*. Mais il n'en eſt pas de même, ſi le rapport des puiſſances change : le produit de chaque tems infiniment petit, eſt une ligne droite que le mobile décrit toujours en conſéquence de la loi établie ci-deſſus ; mais chacune de ces lignes a ſa direction particuliére, ſelon l'état actuel des puiſſances, comme on peut le voir par la *Figure* 10. Car ſi le mobile *M* eſt pouſſé horizontalement par une force dont l'action ſoit égale dans tous les inſtans, & qu'en même tems il obéiſſe à une impulſion de haut en bas qui augmente de plus en plus, comme les eſpaces *Ma*, *ab*, *bc*, &c. pendant le premier tems, le corps *M* parviendra en 1, à la fin du ſecond au point 2, enſuite au point 3, &c. Chacune de ces lignes, com-

V. LEÇON.

me on voit, eſt une petite diagonale; mais de leur ſuite, il ſe forme une courbe qui varie comme le rapport des puiſſances : deux expériences rendront cette théorie ſenſible.

IV. EXPERIENCE.

Preparation.

La Machine repréſentée par la *Fig.* 11. eſt formée de deux plans élevés verticalement, dont l'un *ABC*, plus avancé que l'autre, eſt chantourné en portion de cercle par le haut, & laiſſe en cette partie une eſpéce de gouttiére *AB* entre lui & l'autre plan qui eſt plus reculé. Ce dernier eſt diviſé de *B* en *D* en trois parties égales, & de *B* en *C* en trois parties inégales qui vont en augmentant comme 1, 3, 5. Aux angles que forment entre elles les lignes de diviſion, on a fixé des anneaux perpendiculairement au plan, & le tout eſt porté ſur une baſe que l'on met de niveau par le moyen de trois vis.

V. LEÇON.

Effets.

On laisse tomber une balle d'ivoire par la gouttiére *AB*, & elle décrit la courbe *BEF*, en passant par les anneaux.

Explications.

Lorsque la balle est parvenue du point *A* au point *B*, par l'arc de cercle qu'elle a décrit, elle a acquis une certaine vîtesse avec laquelle elle s'échappe dans la direction *BD*; & en conséquence de la premiére loi du mouvement simple, elle suivroit cette ligne, si rien ne s'y opposoit. Mais cette balle est pesante, & la pesanteur, comme nous le verrons bientôt, est une force dont la direction est de haut en-bas, & qui donne au mobile une vîtesse accélérée; c'est pourquoi lorsque la balle est parvenue au point *B*, & qu'elle cesse d'être soutenue par la gouttiére, elle se trouve soumise à deux puissances, l'une qui est sa vîtesse acquise en descendant du point *A*, l'autre qui est sa propre pesanteur. La premiére qui a sa direction vers *D*, est uniforme; la

V. LEÇON.

seconde qui est dirigée vers *C*, est accélérée : ainsi les espaces que cette balle parcourt en descendant, n'étant ni égaux entre eux, ni dans un rapport constant avec ceux qu'elle parcourt en avant; le changement de direction qu'elle éprouve à chaque instant, lui fait décrire la courbe *BEF*.

APPLICATIONS.

Des exemples sans nombre font voir que la pesanteur des corps change leur mouvement, quand ils ne sont pas dirigés comme elle; c'est une force qui a son effet, comme toute autre l'auroit en pareil cas; & quand on ne l'apperçoit pas, c'est que l'autre puissance qui agit en même tems sur le mobile, est beaucoup plus grande.

Une balle de calibre tirée à 70 pas, ne paroît pas avoir baissé : si l'on en juge par les apparences, on diroit qu'elle n'a suivi que la seule impulsion de la poudre, & que sa pesanteur n'est entrée pour rien dans son mouvement, puisqu'elle semble s'être entretenue dans la vraie direction du canon.

Mais il faut faire attention à deux choſes ; la premiére, c'eſt que la vîteſſe de la balle dans une telle diſtance eſt ſi grande, que ſa peſanteur ne la feroit deſcendre que d'une très-petite quantité, ſi on la laiſſoit librement tomber pendant un pareil tems : ainſi cette chûte ne doit pas être plus conſidérable, quand un autre mouvement tranſporte le mobile. La ſeconde, (& cette raiſon eſt la plus forte,) c'eſt que les canons des armes à feu ſont plus épais vers leur culaſſe, qu'à leur embouchure, de façon que la ligne de mire *GH*, & la vraie direction de la balle, ſe croiſent en chemin, comme on le peut voir par la *Fig.* 12. Ainſi quand on croit diriger la balle en *H*, on la dirige véritablement en *I*; & ſi l'on tire à une diſtance convenable, que l'impulſion de la poudre ſoit proportionnée au poids de la balle, & que l'angle formé par la ligne de mire, & la direction du canon intérieur, ſoit dans une bonne proportion ; l'effet de la peſanteur fera baiſſer le coup de la quantité *IH*, & l'on touchera par un mouvement vraiment compoſé le but qu'on s'eſt pro-

V. LEÇON.

V. LEÇON.

posé, n'ayant égard qu'au mouvement simple imprimé par la poudre enflammée.

Tous les fusils relévent donc le coup, & quand on s'en plaint, on ne doit l'entendre que de ceux qui le font trop; car si le canon étoit partout d'une même épaisseur, le rayon visuel seroit paralléle à la direction de la balle; le poids du plomb feroit de nécessité baisser le coup, & ce défaut de construction obligeroit le tireur d'avoir égard à l'effet de la pesanteur.

Tous les écoulemens d'eau qui ne se font point perpendiculairement à l'horizon, font encore voir des mouvemens composés en lignes courbes, par des forces dont les actions ne demeurent pas constamment en même rapport dans tous les instans. L'eau qui tombe d'une gouttiére, par exemple, part horizontalement avec une vîtesse qu'elle acquiert en descendant du toit,& cette vîtesse une fois acquise doit être considérée comme uniforme; mais en même tems cette eau tend à se mouvoir de haut en bas, avec une force qui croît dans tous les ins-

tans; de cette double tendance il naît une courbe, qu'un écoulement successif représente aux yeux, & son extrémité où se termine la chûte, se porte d'autant plus loin en avant, que la vîtesse horizontale est plus grande, comme on peut le remarquer, lorsque l'écoulement est plus abondant ; car alors la masse de l'eau étant plus considérable, elle est aussi moins retardée par les frottemens, ou par la résistance de l'air.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur deux cordes de boyaux fortement & parallélement tendues d'un bout à l'autre d'une chambre, on fait glisser la planche *LM*, *Fig.* 13. que l'on tire par le moyen d'une ficelle qui passe sur la poulie de renvoi *N*; au milieu de cette planche mobile est un bout de tuyau ou de canon, dans lequel est un petit cylindre de bois dur, & qui peut se mouvoir de bas en haut, sans sortir; dessous est un marteau poussé par un ressort qui se tend, quand on fait passer le manche

V. LEÇON.

du marteau par la mortaiſe *L*, où il eſt retenu par une petite clavette *O*. Cette derniére piéce tient à une ficelle de 2 ou 3 pieds de longueur qui eſt fixée, comme les deux cordes, à la muraille; on met une balle d'ivoire & de calibre dans le petit canon, & l'on tire la planche le plus uniformément que l'on peut, & avec une vîteſſe capable de lui faire parcourir environ 8 ou 10 pieds dans une ſeconde.

EFFETS.

Lorſque la planche a parcouru environ le tiers de ſon chemin, la clavette retenue par la ficelle à laquelle elle eſt attachée, détend le reſſort qui pouſſe le marteau: alors le coup porté en deſſous ſur le petit cylindre, ſe communique à la balle d'ivoire; elle eſt chaſſée du petit canon d'où elle s'éléve, & va retomber par une ligne courbe, ſur la planche qui a continué de s'avancer, pendant que la balle étoit en l'air.

EXPLICATIONS.

Si la planche *ML* demeuroit en

repos, pendant que le marteau imprime ſon impulſion, il eſt évident que la balle s'éléveroit perpendiculairement par la ligne *P p*; il eſt inconteſtable auſſi, que ſi la balle n'avoit qu'un mouvement commun avec la planche, elle ne ſortiroit pas plus qu'elle de la direction horizontale; mais ſi elle part avec les deux mouvemens enſemble, la loi du mouvement composé exige qu'elle prenne une direction moyenne, & qu'elle s'éléve par une ligne oblique à l'horizon, comme *PQ* ou *PR*. Lorſqu'elle eſt une fois déterminée à ſe mouvoir dans une de ces lignes, elle continueroit toujours en conſéquence de la premiére loi du mouvement ſimple, ſi ſa peſanteur n'y mettoit obſtacle. Cette puiſſance, qui eſt comme réſidente en elle, & qui la ſollicite ſans ceſſe à deſcendre, l'éloigne de plus en plus de la direction qu'elle a; & comme les eſpaces qu'elle lui fait parcourir de haut en bas vont toujours en augmentant, (ce que nous expliquerons d'une maniére plus préciſe en parlant des loix de la peſanteur,) il arrive que dans le tems qu'elle auroit

V. LEÇON.

mis à parcourir la ligne *PR*, elle parvient au point *S*, par la ligne *PTS*, & la planche qui n'a pas interrompu ſon mouvement, ſe trouve ſous la balle à la fin de la chûte.

APPLICATIONS.

L'expérience qu'on vient d'expliquer, fournit des réponſes aux queſtions ſuivantes.

1°. A quelle ſorte de danger ſeroit exposé un mouſſe qui ſe laiſſeroit tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaiſſeau eſt à la voile ? courroit-il le riſque de ſe perdre dans la mer, ou bien ſa chûte ſe feroit-elle ſur le pont ?

2°. Que deviendroit une orange qu'un Cavalier courant à toute bride, prendroit ſoin de jetter en l'air & perpendiculairement à l'horizon? la vîteſſe du cheval la laiſſeroit-elle en arriére?

3°. En ſuppoſant que la terre tourne ſur ſon axe en 24 heures, & qu'un canon ou un mortier placé ſous l'équateur, eût un mouvement d'Occident en Orient qui égalât à-peu-près 250 toiſes par ſecondes, le boulet qui ſeroit tiré perpendiculairement,

suivroit-il cette direction, tant en montant qu'en descendant ?

V. LEÇON.

Il suit des explications précédentes que le mousse tomberoit au pied du mât, par une ligne qui paroîtroit verticale à ceux qui seroient sur le vaisseau; mais dont on appercevroit bien la courbure, si l'on étoit sur le rivage: car il est bien vrai que cette chûte seroit paralléle au mât qui est droit; mais les différens points du mât ausquels répondroit le mousse en tombant, seroient plus avancés les uns que les autres dans la direction horizontale, & leur suite se trouveroit dans une ligne courbe, parce que la chûte se fait avec une vîtesse accélérée; ce qui s'entendra aisément, si l'on prend pour le mât la ligne *Mf* de la *Fig.* 10. les espaces interceptés entre les lettres *M*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, pour le chemin que parcourt le mousse en tems égaux pendant sa chûte, & la ligne *Mc* ou *f* 6, pour l'espace parcouru horizontalement par le vaisseau.

L'orange du Cavalier & le boulet de canon seroient précisément dans le cas de la balle d'ivoire de notre

V. LEÇON,

derniére expérience, & feroient comme elle ; ni l'un ni l'autre de ces deux mobiles ne tomberoit en arriére ; & fi des caufes accidentelles n'y mettoient empêchement, l'une arriveroit dans la main du Cavalier, & l'autre dans l'embouchure du canon d'où il feroit parti : ce qu'il eft aifé d'appercevoir, en appliquant à ces deux fuppofitions les raifons dont nous nous fommes fervis pour expliquer le mouvement de la balle d'ivoire.

Quoique ces effets puiffent fe conclure en toute fûreté de la théorie, on ne doit guère les attendre dans la pratique ; parce qu'à l'inftant que le mobile part, fon mouvement eft réglé en conféquence des deux impulfions, telles qu'elles font à l'inftant du départ ; mais il arrive très-ordinairement qu'avant fa chûte le plan mobile qui doit le recevoir, reçoit quelque changement, ou dans fa vîteffe, ou dans fa direction ; ou bien le mobile rencontre des obftacles qui dérangent les rapports des impulfions dont fon mouvement eft compofé : en pareils cas les à-peu-près

ſuffiſent, & on les a preſque toujours, ou s'ils manquent, les cauſes ſe préſentent d'elles-mêmes.

II. SECTION.

Des Forces centrales.

TOUT ce que nous avons enſeigné touchant le mouvement ſimple dans les Leçons précédentes, & ce que nous venons d'expoſer dans celle-ci ſur le mouvement compoſé, fait voir qu'il n'y a aucun mouvement qui ſoit naturellement dirigé en ligne courbe; un corps une fois déterminé à ſe mouvoir, ſoit par une ſeule cauſe, ſoit par pluſieurs enſemble, tend toujours à perſévérer dans l'état où il eſt, & cet état conſiſte à paſſer avec une certaine vîteſſe d'un terme à un autre, par la voie la plus courte qui eſt une ligne droite. Si l'on voit donc un mobile décrire une ligne courbe par ſon mouvement, il faut conſidérer le chemin qu'il fait comme une ſuite de mouvemens non interrompus, mais dont les directions

V. LEÇON.

particuliéres changent à tout inſtant, & forment entr'elles des angles fort obtus, de même qu'on a coutume de conſidérer un cercle, ou une ligne courbe, comme un aſſemblage de lignes droites infiniment courtes & inſenſiblement inclinées entr'elles; telle ſeroit la ligne 1, 2, 3, 4, 5, 6 de la *Fig.* 10. ſi les parties interceptées entre ces chiffres n'avoient point une longueur ſenſible.

Cette ſuite de mouvemens en lignes droites dont l'aſſemblage forme une courbe, ne peut donc point être l'effet d'une ſeule détermination; pluſieurs même ne ſuffiroient pas, à moins qu'elles ne changeaſſent continuellement de rapport entre elles, comme nous l'avons expliqué & prouvé dans la ſection précédente.

Mais ces rapports peuvent changer, non-ſeulement quant à l'*intenſité*, c'eſt-à-dire, quant au dégré de force; mais ils peuvent varier auſſi quant à la direction des puiſſances, & c'eſt une autre vûe ſous laquelle il nous reſte à conſidérer le mouvement composé.

Suppoſons donc que le mobile *A*,

Fig. 14. soit sollicité de se mouvoir par deux puissances qui soient entr'elles comme les deux lignes *AC* & *AB*, tant pour l'intensité que pour les directions, c'est-à-dire, que leurs forces soient comme 1 à 3, & que leurs directions fassent entre elles un angle droit au point *A*; il est certain que le mouvement composé commencera par *Ad*, & qu'il continueroit jusqu'en *D*, si rien ne changeoit; mais si les deux puissances à la fin de ce premier tems se retrouvent disposées entr'elles comme au commencement; si, par exemple, la tendance vers *D* restant telle qu'elle résulte du mouvement composé, l'autre puissance se dirige vers *H*, le mouvement se composera de nouveau, & le mobile parviendra en *e* : & s'il arrive encore pareille chose, que l'une des deux puissances se dirige en *I*, on verra le mobile arriver en *f*, & de-là en *g*, & ensuite en *h*, si le point *K* & le point *L* deviennent successivement les termes de la puissance qui étoit d'abord *AC*.

Ce que nous venons de supposer, se trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout au-

V. LEÇON.

tre corps que l'on fait tourner au bout d'une corde; car la main passant successivement par les points *C, H, I, K, L*, fait passer la corde par les lignes *A c*, *d H*, *e I*, &c. & comme on suppose que cette corde est toujours de même longueur, elle représente une puissance qui ne varie que par sa position. Si l'on considére comme infiniment petites les lignes *A d*, *d e*, *e f*, *f g*, &c. que le mobile parcourt, leur suite sera une courbe telle qu'on voit décrire à tous les corps qui se trouvent en pareil cas.

Tous les corps qui circulent comme la pierre d'une fronde, font donc un effort continuel pour ne plus circuler, puisque s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par quelqu'une des petites lignes droites qu'ils commencent à chaque instant, comme *d D*, ou *e E*, que l'on nomme *tangentes*. C'est une conséquence de la premiére loi du mouvement que l'expérience confirme; car si la corde se casse ou se lâche tout-à-fait, quand la fronde est en *d*, la pierre qu'elle porte ne continue pas son mouvement par les points *e*, *f*, *g*, &c. mais elle suit la ligne

ligne *dD*; & toute l'habileté du frondeur consiſte à bien eſtimer la tangente qui tend au but.

V. LEÇON.

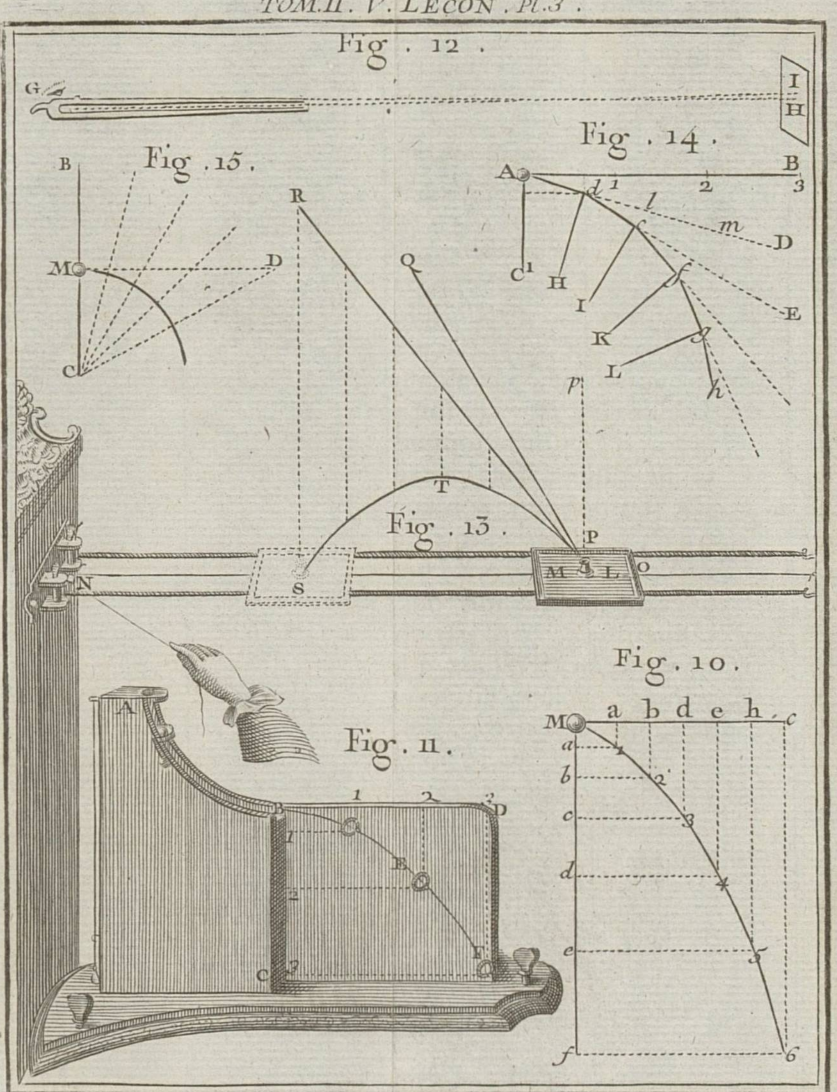
Mais tendre à s'échapper par la tangente, & faire effort pour s'éloigner du centre du mouvement circulaire, ce ſont deux expreſſions qu'on peut regarder comme ſynonimes; car il eſt évident que ſi le mobile *A*, au lieu d'aller de *d* en *e*, & d'*e* en *f*, continuoit de *d* en *l*, & d'*l* en *m*; il s'écarteroit de plus en plus des points *I*, *K*: on peut donc dire en général que tous les corps qu'on fait mouvoir en ligne courbe, tendent à s'éloigner du centre de leur mouvement; & que quand cette tendance n'a pas ſon effet, c'eſt qu'ils ſont retenus ou pouſſés vers ce centre, par une force contraire.

Ces deux forces qui produiſent le mouvement circulaire ou en ligne courbe, & qui ſollicitent continuellement le mobile, l'une à s'approcher, l'autre à s'éloigner du centre, ſe nomment *forces centrales*; & pour les diſtinguer l'une de l'autre, on appelle la premiere *force centripéte*, & la derniére *force centrifuge*.

V. LEÇON.

Les forces centrales ſont directement oppoſées l'une à l'autre ; car quoique la force centrifuge ait ſa direction par la tangente, il faut faire attention que le rayon qui repréſente la force centripéte, s'il étoit prolongé, ſeroit coupé par cette tangente dans une ſuite de points qui vont toujours en s'écartant du centre : rendons ceci plus intelligible par une *Figure.*

Suppoſons, par exemple, que le mobile *M*, *Fig.* 15. ſoit porté par le rayon *B C*, ſur la longueur duquel il puiſſe gliſſer ; il eſt certain que ſi l'on fait tourner ce rayon autour du centre *C*, tous les points compris entre *M* & *B*, paſſeront ſucceſſivement avec le mobile ſur tous ceux de la tangente *MD* ; & par conſéquent le corps *M* en obéiſſant à la force centrifuge, gliſſera directement d'*M* en *B*. C'eſt par cette raiſon que la corde d'une fronde demeure tendue, pendant qu'on la fait tourner ; & que quand on fait circuler de même un gobelet plein d'eau, le fluide bien loin de ſe répandre, fait effort contre le fond du vaſe. Paſſons aux expérien-



Dheulland del. et Sculp.

ces, & faiſons voir d'abord que les forces centrales ont lieu dans toutes ſortes de matiéres, fluide ou ſolide, pourvû que leur mouvement ſe faſſe en ligne courbe.

V. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui eſt repréſentée par la *Fig.* 16. eſt une table triangulaire établie ſolidement ſur trois pieds que l'on peut caller avec des vis. Vers le ſommet du triangle on a élevé perpendiculairement un montant qui porte une roue verticale, que l'on fait tourner avec une manivelle ou autrement : cette roue par le moyen d'une corde & de deux petites poulies de renvoi, méne deux grandes poulies horizontales *A B*, enarbrées de fer, & placées aux deux autres angles de la table : ces poulies ont pluſieurs gorges dont les diamétres différent entre eux, & c'eſt ſur le plan ſupérieur de ces poulies qu'on établit les différentes piéces qui ſervent aux expériences de cette eſpéce.

Pour celle dont il s'agit maintenant,

V. LEÇON.

on attache ſur une des deux poulies *A* ou *B*, un ſupport ou portant *CD*, comme il eſt repréſenté : un fil de fer tendu d'un bout à l'autre, enfile deux boules d'ivoire d'égale groſſeur qui tiennent l'une à l'autre par une ſoie de 5 pouces de longueur, & qui peuvent gliſſer avec une grande facilité ſur le fil de métal qui les porte. On place l'une des deux boules au milieu, & l'autre à la diſtance que la ſoie peut permettre.

EFFETS.

1°. Quand on fait tourner la grande roue, & qu'on imprime un mouvement circulaire au portant, la boule *E* décrit un cercle, & entraîne avec elle celle qui eſt au centre du mouvement.

2°. Si l'on coupe la ſoie qui lie les deux boules, & qu'on recommence l'expérience, la boule *F* demeure au centre, & l'autre s'échappe ſeule.

3°. Si dans une troiſiéme épreuve, les boules étant liées comme dans la premiére, on les place à égale diſtance du centre de part & d'autre, elles ne partent ni l'une ni l'autre, avec

quelque vîteſſe qu'on les faſſe tourner.

EXPLICATIONS.

Lorſque le portant tourne horizontalement, le fil de fer qui eſt tendu d'un bout à l'autre, forme par ſa révolution un plan circulaire dont il eſt le diamétre, & tous les points compris dans ſa longueur, depuis le milieu juſqu'aux extrémités *C* & *D*, décrivent autant de cercles concentriques. La boule *E* par conſéquent ſe trouve dans un de ces cercles qu'elle décrit auſſi; ce mouvement lui donne une tendance à s'éloigner du centre de ſa rotation, par la tangente; & comme elle eſt portée par un rayon qui ſe meut lui-même avec elle, elle gliſſe ſur ſa longueur, comme nous l'avons expliqué par la *Fig.* 15. Ce qui la fait mouvoir ainſi, eſt une force réelle, puiſqu'elle l'emporte ſur la réſiſtance, non-ſeulement de ſa propre maſſe, qui par ſon inertie, demeure, autant qu'elle peut, à la diſtance où on l'a poſée, mais encore ſur celle d'une autre maſſe qui ne circule pas, & qu'une pareille tendance ne ſollicite point à ſortir de ſa place,

V. LEÇON.

comme il paroît lorſqu'on coupe la ſoie ; car alors le centre de la boule *F* étant au centre même de la rotation, il ne peut y avoir de force centrifuge que dans ſes parties, qui tournent effectivement ; mais dans un corps ſphérique & homogène, tel que la boule de notre expérience, les parties correſpondantes ont des forces centrifuges égales, & directement contraires, en équilibre par conſéquent : elles ſont les unes aux autres comme les deux boules *E* & *F* liées enſemble par une ſoie, & poſées à égales diſtances du centre de leur mouvement : mais nous ſerons plus en état de faire entendre cet équilibre, quand nous aurons fait connoître comment on doit meſurer la force centrifuge.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au lieu du portant & des deux boules d'ivoire dont nous nous ſommes ſervis dans l'expérience précédente, on en place un autre qui porte au milieu de ſa longueur un petit

réservoir plein d'eau, auquel communiquent deux tuyaux de verre inclinés *G*, *H*, & enflés en forme de boule par les deux autres extrémités, comme on le peut voir par la *Fig.* 16.

EFFETS.

En faisant tourner ce portant & ce qu'il contient, l'eau s'éléve du réservoir par les tuyaux, & remplit les deux boules qui sont à leurs extrémités.

EXPLICATIONS.

Avant qu'on imprime le mouvement de rotation, l'eau se tient à niveau du réservoir, dans la partie inférieure des tuyaux; parce que ces petites colonnes du fluide font équilibre par leur poids à celles qui répondent, dans le réservoir, à l'orifice de ces tuyaux. Mais quand ces petites portions d'eau viennent à tourner avec une certaine vîtesse, la force centrifuge, plus grande que leur pesanteur qui leur tient lieu de force centripéte, les porte vers la boule creuse. A mesure qu'une partie monte, une autre lui succéde pour faire

V. Leçon.

équilibre à l'eau du réſervoir ; & ſucceſſivement il s'en éléve une aſſez grande quantité pour remplir & le tube & la boule.

Applications.

Ces deux premiéres expériences prouvent bien clairement ce que nous avons avancé d'abord, que tous les corps indiſtinctement, en quelque état qu'ils puiſſent être, acquiérent une force centrifuge en tournant ; la liaiſon des parties, ou leur fluidité, ne change rien à cet effet ; cette eſpéce de force eſt comme la vîteſſe répartie à toutes les particules de matiére qui circulent, ou plutôt elle n'eſt autre choſe que leur vîteſſe même conſidérée dans cette circonſtance.

Les toupies & les pirouettes dont les enfans s'amuſent, peuvent être citées ici comme des objets d'inſtruction ; en effet, ces exemples familiers nous font voir que la force centrifuge ſe met en équilibre avec elle-même, dans les corps dont l'axe ou le centre de gravité ne circulent point ; comme nous l'avons enſeigné ci-deſſus, en mettant la boule d'i-

voire au centre de la rotation ; en pareil cas ſi le mobile n'a que le mouvement circulaire ſans aucun balancement, quoiqu'il paroiſſe très-ſouvent en repos, on reconnoît aiſément que ſes parties tendent à s'écarter du centre, & qu'elles ne ſont retenues que par leur adhérence naturelle ; car ſi l'on y fait tomber quelque fluide, bientôt il ſe diſſipe, & abandonne la ſurface ſolide avec laquelle il tourne. Les roues des carroſſes & des chaiſes de poſte jettent la boue au loin ; & la meule du gagne-petit vuideroit l'auge dans laquelle elle plonge en partie, & feroit une aſperſion continuelle & incommode, ſi l'on n'avoit ſoin d'arrêter l'eau qu'elle emporte de trop, par un morceau de cuir ou de chapeau, qu'on fait traîner ſur ſa ſurface.

V. LEÇON.

Les ſoleils qu'on fait paroître dans les feux d'artifice, deviennent plus grands & plus beaux par leur mouvement de rotation ; car le ſalpêtre enflammé ſe répand par une infinité de tangentes, & forme un plan plus étendu qu'il ne pourroit être s'il brûloit ſans tourner.

V. LEÇON.

On peut mettre notre ſeconde expérience à profit, en appliquant à l'élévation des eaux, ou à leur évacuation, le principe dont elle eſt la preuve ; c'eſt un moyen que l'on a déja tenté avec ſuccès, & je ne doute pas qu'en bien des occaſions on n'en pût tirer de grands avantages. La fameuſe pompe de Heſſe qui fut annoncée aux Sçavans ſous le nom de *Rotatilis Suctor*, * que Papin devina, & qu'il employa depuis avec divers changemens, n'étoit autre choſe au fond qu'un tambour ou cylindre creux plongé dans l'eau, & dans lequel on faiſoit tourner des volans fixés à un axe ; ce mouvement faiſant circuler l'eau, lui donnoit une force centrifuge qui la faiſoit s'élever par un canal ou tuyau pratiqué à la circonférence du tambour. Pluſieurs perſonnes ont encore conſtruit des pompes, où la force centrifuge eſt appliquée d'une maniére ingénieuſe. On en trouve quelques-unes dans Ramelli, & dans le Recueil des machines approuvées par l'Académie des Sciences *. On a fait auſſi ſur ce principe des ſoufflets de forges *, & des eſpéces de cribles, ou vans, pour nettoyer le

* *Actes de Leipſik. Juin. 1689.*

* *Tom. 6, p. 11. & ſeq.*

* *Ibid. tom. 5, page 41.*

bled ; la partie principale de ces machines eſt toujours un axe garni de volans qu'on fait tourner dans un tambour ; on imagine bien que s'il y a un trou , ou un tuyau ouvert, à la circonférence du tambour, & un autre à l'un des côtés , près du centre du mouvement, il doit ſe faire un écoulement d'air continuel par le premier ; car tandis que la force centrifuge cauſe une évacuation par la circonférence, le poids de l'air auquel rien ne s'oppoſe plus alors , doit remplir le tambour par le centre.

V. LEÇON.

M. Deſaguilliers profitant de ces deux déterminations qu'on peut faire prendre à des fluides par de ſemblables machines, en a fait conſtruire une *, avec laquelle il s'eſt propoſé de changer l'air de la chambre d'un malade , de renouveller auſſi celui des ſouterrains , ou des lieux qui deviennent infects par le grand nombre ou par le mauvais état des perſonnes qui les rempliſſent : comme les ſalles de ſpectacles, les réfectoires de communautés, les infirmeries, &c. Les expériences qui en ont été faites à Londres à la chambre des

* *Tranſact. Philoſophiques, n.* 437.

V. LEÇON.

Communes, ont fait voir que l'Auteur ne s'étoit point trompé dans ses vûes, & que cette invention offre des avantages réels.

Si l'on vouloit se servir des tuyaux inclinés, comme dans notre expérience, il est vrai qu'on y trouveroit le même inconvénient que dans la vis d'Archiméde. On ne pourroit guère les appliquer qu'à des élévations d'eau médiocres, parce qu'ils exigeroient une trop grande longueur; mais il y aura bien des cas où cet inconvénient n'en sera point un. On sçait que le succès des machines est redevable aux circonstances, & que celle qui n'est pas la meilleure à certains égards, doit être souvent préférée pour d'autres raisons qui l'emportent.

La force centrifuge est un moyen dont je me sers souvent pour rassembler la liqueur dans mes thermométres, quand des secousses ou quelqu'autre cause l'a séparée en plusieurs parties. Comme ce petit accident interrompt l'usage de l'instrument, & qu'il peut arriver à tous ceux qui en ont, je crois devoir dire ici le remé-

de que j'y apporte. Il eſt facile & fort ſimple. Il faut tenir le thermométre par le haut de ſa planche, & le tourner un peu vîte cinq ou ſix fois, de maniére que la boule ſe trouve dans la circonférence du cercle qu'on lui fait décrire, & ſon tube dans le rayon. La liqueur ſéparée acquiert une force centrifuge qui la réunit bien-tôt au reſte.

V. LEÇON.

On ſçait une partie des effets que produit un pareil mouvement ſur les animaux. Les jeunes gens ſe divertiſſent quelquefois à faire tourner des poules après leur avoir mis la tête ſous l'aîle, pour les endormir, diſent-ils ; & en effet on voit ſouvent ces animaux reſter immobiles à l'endroit où on les poſe après cet exercice ; mais il y a toute apparence que c'eſt moins l'effet d'un ſommeil, que celui d'un étourdiſſement cauſé par le trouble qui s'eſt mis dans leurs ſens, & qui les empêche, tant qu'il dure, de recevoir les impreſſions qui les déterminent dans leurs mouvemens ordinaires.

Je ſçais, à n'en point douter, qu'un animal peut mourir quand on l'ap-

V. LEÇON.

plique à cette épreuve. J'ai attaché par les pattes de derriére un fort lapereau, à une corde que j'ai fait tourner rapidement par deux hommes, environ 100 tours de ſuite, & lorſque l'on ceſſa il n'étoit pas mort, mais il ne put ſe ſoutenir ſur ſes pattes, & il expira quelque tems après. Un chat que l'on fit tourner de même, ne mourut point, mais il vomit beaucoup; & quoiqu'il n'eût reçu aucun coup, on apperçut à ſa gueule quelques goutes de ſang. L'économie animale ſe dérange ſans doute en pareil cas, parce que la force centrifuge détermine les fluides à ſe porter vers la tête, leur cours naturel eſt interrompu par ce mouvement étranger, & leurs fonctions ceſſent.

Le jeu de bague, celui de l'eſcarpoléte ſeroit dangereux par la même raiſon, ſi la poſition du corps ne prévenoit les accidens: ſi au lieu d'y être aſſis, ou dans une ſituation qui met les vaiſſeaux à peu-près paralléles à l'axe de la rotation, l'on y étoit couché de maniére que la longueur du corps fût perpendiculaire à ce même axe, je ne doute nulle-

ment qu'on n'en fût bien-tôt incommodé : peut-être auſſi pourroit-on tenter ce moyen, pour rétablir le cours des humeurs dans des membres qui ſont attaqués de paralyſie. Un Sçavant m'a prévenu ſur cette penſée ; mais comme il ne fait pas ſon étude ordinaire d'anatomie, ni de médecine, non plus que moi, je crois que c'eſt aux gens de l'art à juger de ce qu'elle vaut, & de l'uſage qu'on en peut faire.

LA force centrifuge n'étant autre choſe que l'effort d'un corps qui tâche de continuer ſon mouvement, par la tangente de la courbe qu'on lui fait décrire ; elle doit ſe meſurer comme le mouvement même, par la maſſe & par la vîteſſe : ainſi de deux mobiles qui circulent avec des vîteſſes égales, celui-là a plus de force centrifuge qui a le plus de matiére ; de même auſſi, quand les maſſes ſont égales, cette même force ne peut différer que par le dégré de vîteſſe.

Pour connoître le dégré de vîteſſe d'un corps qui circule, il faut avoir égard à deux choſes ; 1°. à la gran-

V.
LEÇON.

deur de sa révolution ; 2°. au tems qu'il emploie pour la faire

On appelle *révolution*, la courbe que décrit le mobile, à compter du point d'où il part, jusqu'à ce qu'il se rencontre sur ce même point, ou vis-à-vis, sur une ligne qui passe au centre. Tel est le cercle qui commence en *A*, *Fig.* 17. & qui finit au même point, ou la spirale *AED*, qui commence & finit sur la même ligne *D C. Fig.* 18.

Le tems qui s'écoule pendant que le mobile fait une révolution entiére, s'appelle *tems périodique*. La vîtesse est d'autant plus grande, que le tems périodique est plus court, & la révolution plus ample : ainsi le mobile *A* iroit avec plus de vîtesse que le mobile *D*, si chacun d'eux parcouroit en même tems le cercle dans la circonférence duquel il est ; ou bien, si tous deux ayant la même révolution à faire, comme *A*, *F*, le dernier faisoit son tour plutôt que l'autre. De même, que l'on mesure un cercle par son rayon, la révolution circulaire s'estime par la distance du mobile au centre ; par conséquent si la distance de *C* en *D* est une fois plus

petite, que de *C* en *A*, on doit conclure que la révolution du mobile *A* est une fois plus grande que celle de *D*. V. LEÇON.

En comparant les forces centrifuges de deux corps, nous avons donc trois choses à considérer, la masse, la distance au centre, & le tems périodique.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur l'une des deux poulies horizontales *A* ou *B*, de la machine qui est représentée par la *Fig.* 16. on établit un support, *Fig.* 19. sur lequel sont arrêtés quatre tubes de verre inclinés au plan, & qui se joignent au milieu. Dans chaque tuyau de la premiere paire, sont renfermées deux liqueurs dont les pesanteurs spécifiques sont différentes; sçavoir dans le premier, de l'eau commune & de l'huile de térébenthine colorée; & dans le second, de l'huile de tartre avec de l'esprit-de-vin. Ceux de la seconde paire sont pleins d'eau avec une petite boule de cuivre dans l'un, & une de liége dans

V. LEÇON.

l'autre. Quand tout est en repos, les deux liqueurs les plus légères se tiennent dans la partie la plus élevée des tubes qui les renferment, & chacune des petites boules occupe aussi la place qui convient à son poids : celle de métal demeure en bas, & celle de liége en haut dans son tube. Mais lorsque l'on met la machine en mouvement :

EFFETS.

L'esprit-de-vin & l'huile de térébenthine cédent leurs places à l'eau, & descendent dans la partie inférieure de leurs tubes ; la boule de cuivre gagne le haut du sien, & celle de liége, tout au contraire, se porte de haut-en-bas.

EXPLICATIONS.

Par le mouvement de rotation imprimé au support, chaque portion des tubes, & ce qu'elle contient, décrit un cercle, & acquiert une force centrifuge ; la premiere couche d'eau qui touche l'huile de térébenthine exerce donc contre cette liqueur, toute la tendance qu'elle a

pour s'éloigner du centre de ſon mouvement : cet effort ſeroit impuiſſant, ſi la force centrifuge de l'huile étoit égale à celle de l'eau ; parce qu'étant ſoutenue par une colonne de même liqueur appuyée contre l'extrémité du tube, rien ne l'obligeroit à céder ſa place : mais elle eſt moins peſante ; & l'eau, en conſéquence de ſon excès de maſſe, prévaut contre l'huile, & la précipite peu-à-peu ; car ce qui ſe paſſe entre les deux premieres couches, arrive de même pour toutes les autres : ainſi l'huile & l'eſprit-de-vin ſe déplacent, non par un effort poſitif de leur part, (car le mouvement circulaire donne auſſi de la force centrifuge à ces deux liquides ;) mais parce que cette force en eux n'égale point celle de l'eau ; & comme la matiére eſt impénétrable, & que la place néceſſaire pour contenir la colonne d'eau ne ſuffit pas pour comprendre avec elle celle de l'huile, le lieu le plus éloigné du centre eſt occupé par celle des deux liqueurs qui a le plus de force pour s'en emparer.

On doit expliquer de même le dé-

V. LEÇON.

placement des deux boules ; par-tout où elles ſe trouvent dans leurs tubes, chacune répond à un volume d'eau dont la maſſe eſt différente de la ſienne, en plus ou en moins. Cette inégalité fait naître un excès de force centrifuge dans l'un des deux volumes qui ſe touchent ; & de cette maniére la boule de liége plus foible que l'eau, eſt obligée de deſcendre ; le cuivre au contraire prévaut, & s'éléve au-deſſus de tous les petits volumes d'eau correſpondans.

APPLICATIONS.

On voit donc par ces effets, que la force centrifuge augmente comme la maſſe des corps, quand les vîteſſes ſont égales, & que la force centripéte d'une matiére, peut être l'effet de la force centrifuge d'une autre, qui circule avec elle ou autour d'elle. Le Payſan qui vanne ſon bled, nous en offre un exemple qui a mérité l'attention des Philoſophes : lorſqu'il veut raſſembler la paille qui eſt mêlée avec le grain pour l'en purger, il imprime à toute la maſſe un mouvement circulaire, & auſſi-tôt

on voit les parties les plus légères se porter au centre du mouvement, parce que les plus pesantes ont plus de force qu'elles pour aller à la circonférence.

On remarque aussi que tous les corps qui flottent sur une eau qui tourne, se rassemblent vers le centre de son mouvement ; c'est pourquoi l'on évite avec tant de soin tous les endroits de la mer & des grandes riviéres, où l'eau laisse appercevoir un semblable mouvement ; car une triste expérience a fait connoître qu'on y périt le plus souvent.

Mais ce qui arrive par un excès de masse, se feroit de même par une plus grande vîtesse : un corps environné d'une matiére en circulation, quoiqu'il fût plus pesant que cette matiére ; céderoit pourtant à sa force centrifuge, si elle tournoit beaucoup plus vîte que lui ; de maniére, par exemple, que le dégré de vîtesse dans l'une, l'emportât sur le plus de masse dans l'autre. Les tourbillons de vent qui enlévent la poussiére & le sable, nous en fournissent un exemple & une preuve ; car on peut ob-

V. LEÇON.

ſerver que ces corps beaucoup plus peſans que l'air dans lequel ils tournent, ſont en plus grande quantité au centre du tourbillon, quand il commence, & qu'ils n'ont point encore acquis toute la vîteſſe du fluide.

Deſcartes, en parlant de ce principe, avoit ingénieuſement imaginé qu'on pourroit expliquer méchaniquement cette force centripéte des corps, qu'on nomme *peſanteur*, en ſuppoſant autour de notre globe un tourbillon de matiére très-ſubtile, dont la vîteſſe ſeroit fort grande : car (diſoit-il) cette matiére, à cauſe de la rapidité de ſon mouvement, auroit beaucoup de force centriſuge ; & tous les autres corps qu'elle rencontreroit comme flottans en ayant beaucoup moins qu'elle, ſeroient obligés de lui céder dans tous les inſtans, juſqu'à ce qu'ils fuſſent arrivés à l'endroit le plus bas, c'eſt-à-dire, au centre du mouvement, ou qu'ils euſſent rencontré quelque obſtacle invincible qui les empêchât d'y aller.

Ce Philoſophe cherchant à appuyer ſon raiſonnement ſur quelques faits, pour donner plus de vraiſem-

blance à ſon hypothèſe, indiqua une expérience fort curieuſe, qu'on n'a pas lieu de croire qu'il ait jamais exécutée, mais qui l'a été depuis, & que nous allons rapporter.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *Fig.* 22. eſt un globe de cryſtal plein d'eau, avec laquelle on a fait entrer un peu d'eſprit de térébenthine coloré. Cette boule eſt ſoutenue aux poles par deux piliers ou poupées à pointes, entre leſquels elle peut tourner très-librement, lorſqu'on met en mouvement la grande roue verticale *B*, qui communique par une corde croiſée avec la poulie *C*, fixée à l'un des poles ; le plan qui porte les deux pilliers ou ſupports du globe, peut s'élever & s'incliner plus ou moins par le moyen de deux charniéres *D*, *D*, & d'une vis *F*, qui ſert à le fixer à la hauteur que l'on veut ; le tout eſt porté ſur une table à trois pieds, que l'on met de niveau par des vis.

V. LEÇON.

EFFETS.

1°. Quand on fait tourner le globe ſur ſon axe placé horizontalement, l'eſprit ou l'huile de térébenthine qui n'occuperoit qu'un petit ſegment du globe en ſa partie ſupérieure, ſe diviſe en un grand nombre de petits globules qui flottent dans la maſſe d'eau renfermée avec eux, & qui peu à peu reçoivent comme elle un mouvement de rotation : on les voit enſuite ſe reſſerrer de plus en plus, & former autour de l'axe de la rotation commune une enveloppe, ou plutôt un ſolide, dont la figure eſt ordinairement cylindrique :

2°. Dès que l'on ceſſe de faire tourner le globe de verre, le cylindre formé par les parties d'huile colorée, ſe dilate d'abord par les extrémités, & enſuite dans le reſte de ſa longueur, juſqu'à ce que le mouvement venant à ceſſer dans l'eau, toute l'huile ſe raſſemble par ſa légéreté, à la partie ſupérieure du globe où elle étoit avant l'expérience.

3°. Si l'on recommence le mouvement de rotation, & qu'on incline l'axe

l'axe du globe lorſque les particules d'huile y ſont raſſemblées; elles ſe portent peu à peu au pole le plus élevé, & s'y tiennent tant que dure cette inclinaiſon.

V. LEÇON.

4°. Quand, au lieu d'huile colorée, on met dans l'eau une petite boule de cire ; elle eſt portée dans l'axe par le mouvement de rotation, & s'y comporte comme chacun des globules d'huile ; c'eſt-à-dire, que ſi cet axe eſt bien horizontal, elle ſe tient par-tout où elle ſe trouve dans ſa longueur, & que s'il eſt incliné, elle gagne le pole le plus élevé.

5°. Un globule d'air que l'on ſubſtitue à la boule de cire, fait voir la même choſe ; mais ſi lorſqu'il eſt à l'un des poles on arrête, ou qu'on rallentiſſe le mouvement du globe de verre, il arrive quelquefois que cette particule d'air ſe porte vers le centre de la ſphère.

6°. Si l'on met dans le globe une petite boule de cire, que l'on aura rendue un peu plus peſante que l'eau, en introduiſant au centre un petit grain de plomb, & qu'on la faſſe circuler lentement à quelques pouces de

V. Leçon.

diſtance de l'axe; en redoublant alors de vîteſſe, on voit cette petite maſſe, quoique plus peſante qu'un pareil volume d'eau, deſcendre dans l'axe, & y demeurer conſtamment, en tournant ſur elle-même; & lorſqu'on incline l'axe de la rotation, au lieu de ſe porter au pole le plus élevé, comme la précédente, elle prend une route toute contraire. Cette expérience eſt délicate, elle demande un peu d'habitude dans celui qui la traite; mais quand de dix fois qu'on la tente, elle ne réuſſiroit qu'une, c'en eſt aſſez pour prouver le principe ſur lequel ce fait eſt fondé.

Explications.

Pour bien entendre tous ces faits, il faut concevoir d'abord la maſſe d'eau renfermée dans le globe de verre, comme compoſée d'une infinité de couches fluides fort minces, les unes ſur les autres, & qui vont toujours en décroiſſant de diamétre juſqu'au centre.

Quand on met le globe de verre en mouvement, la ſurface ſolide entraîne par ſon frottement celle du

fluide qui la touche immédiatement ; & comme l'huile colorée en fait partie, elle eſt déplacée au premier tour. Son déplacement occaſionne ſa diviſion ; car étant portée plus bas qu'elle n'étoit, ſa légéreté exige qu'elle remonte ; elle rencontre l'eau en mouvement qui la ſépare, & chacune de ces parties preſſée également de toutes parts par le fluide qui l'environne, prend une figure globuleuſe. Le globe continuant de tourner, le mouvement ſe communique de couche en couche à toute la maſſe de l'eau, de maniére qu'elle ſe meut enſuite comme un ſolide ; je veux dire, que toutes les parties en tournant gardent entre elles des ſituations conſtantes. Ainſi comme tous les points de la ſurface du verre *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *Fig.* 23. à compter d'un pole à l'autre, déſignent des circonférences de cercles paralléles, de même on peut ſe repréſenter toutes les tranches d'eau qui leur répondent, comme autant de plans circulaires qui tournent parallélement ſur le même axe *A B*.

V. LEÇON.

Maintenant ſi nous conſidérons

V.ᵉ LEÇON.

nos petits globules d'huile diſperſés dans l'eau, nous verrons que chacun d'eux eſt ſollicité à s'approcher du centre, non de la ſphère commune, mais du cercle particulier dans lequel il ſe trouve. Celui qui eſt en *a*, par exemple, & qui tourne dans ce paralléle, a bien, en conſéquence de ſon mouvement circulaire, une force centrifuge, par laquelle il tend vers *F*, & avec laquelle il s'échapperoit certainement avec l'eau, ſi le globe étoit ouvert en cet endroit; mais il eſt renfermé, & il répond continuellement à un volume d'eau qui a plus de maſſe que lui, & qui tournant avec une vîteſſe preſqu'égale à la ſienne, lui diſpute la place la plus élevée, avec une force centrifuge prévalente; ce qui l'oblige de céder juſqu'au centre du mouvement où cette force eſt nulle. Chaque particule d'huile éprouve le même ſort dans la tranche d'eau où elle ſe rencontre; ainſi elles viennent toutes ſe ranger au centre de leurs révolutions particuliéres, comme les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6, &c. & cet effet ceſſe dès que la cauſe ne ſubſiſte plus;

c'eſt-à-dire, que l'huile remonte par ſa légéreté reſpective, quand l'eau perd ſa force centrifuge en ceſſant de tourner.

V. LEÇON.

Tant que l'axe de la rotation eſt horizontal, & que le mouvement eſt uniforme dans toute la maſſe du fluide, les particules d'huile rangées dans l'axe conſervent conſtamment la forme d'un cylindre; & par quelle raiſon en affecteroient-elles une autre? La figure du verre l'exige-t-elle, comme l'a penſé un Phyſicien de ces derniers tems? c'eſt un ſentiment qui eſt inſoutenable, non-ſeulement parce qu'il eſt pleinement démenti par l'expérience; mais encore parce qu'on ne trouve rien dans la théorie des forces centrales, ni dans les autres loix du mouvement, qui le favoriſe.

En effet, quand un corps plus léger que l'eau eſt pouſſé vers l'axe de la rotation commune à toute la maſſe; eſt-ce la partie du fluide qui eſt au-deſſus de lui qui le ſollicite à tomber? n'eſt-ce pas plutôt celle qui eſt au-deſſous, qui tend à le déplacer? quelle part ont donc à cet effet

V. LEÇON.

la surface du vaisseau & la figure ? quelle qu'elle puisse être, quand le vaisseau est plein, je n'y vois qu'un point d'appui qui retient le fluide, mais qui ne change rien à la direction des parties inférieures.

Mais si le raisonnement laissoit quelque apparence de doute sur cette question, n'est-elle pas clairement décidée par l'expérience ? Si la concavité sphérique du verre étoit capable de convertir par sa réaction les forces centrifuges particuliéres de chaque cercle, en une force centripéte commune, comme on l'a prétendu ; je demande pourquoi l'on ne voit aucun signe de cette conversion, lorsqu'on fait tourner avec l'eau des parcelles d'huile, ou toute autre matiére légère : pourquoi ces corps en venant à l'axe n'affectent-ils jamais de former ensemble une figure qui puisse faire croire qu'ils tendent à un même centre ? par quelle raison une boule de cire, une bulle d'air, &c. demeurent-elles indifféremment dans tous les points de l'axe où elles se rencontrent ?

Enfin pour achever de convaincre ceux qui auroient encore quelque

doute, changeons de vaisseaux, mettons notre fluide dans un hémisphère, dans un cône, dans un cylindre creux : si l'inclinaison des parois entre pour quelque chose dans les effets, nous verrons sans doute les corps légers se porter vers la base des deux premiers, & demeurer dans l'autre indifféremment où ils se trouveront : cette différence donneroit à la vérité quelque crédit à l'opinion que nous combattons, mais elle ne s'apperçoit nullement, & les personnes mêmes les plus intéressées à l'y trouver, sont convenues qu'on ne la voyoit pas, quand je leur ai répété ces expériences, avec tout le soin & toute l'attention possible.

Après un tel aveu, n'avois-je pas lieu de croire que mes preuves étoient victorieuses ? non, voici encore une objection à laquelle il faut répondre. On oppose expérience à expérience : une bulle d'air, dit-on, revient du pole vers le centre de la sphère ; elle y est donc poussée par une force qui ne peut être que la force axifuge, convertie en centripéte par réaction.

Quand le mouvement est unifor-

V. LEÇON.

me dans le fluide, une boule de cire, une parcelle d'huile, &c. demeure dans tous les points de l'axe indifféremment & auſſi long-tems que dure l'uniformité du mouvement; ſi la bulle d'air quitte le pole pour aller vers le centre de la ſphère, c'eſt un tour de main qui n'en peut impoſer qu'à ceux qui ne l'apperçoivent pas, ou qui ſont trop prévenus pour leur opinion: en effet, cela n'arrive que quand on rallentit le mouvement du globe de verre, & en voici la raiſon.

Comme le mouvement ſe communique de la ſurface du verre à la maſſe de l'eau par le frottement, il ſe rallentit de même; mais ces frottemens ont d'autant plus d'effet, que les ſurfaces répondent à un plus petit volume d'eau: ainſi la partie du liquide qui eſt contenue ſous la ſurface ſolide *CH*, perd ſon mouvement bien plutôt que celle qui eſt ſous G ou ſous *F*; la vîteſſe commence donc à diminuer par les poles; & les parallèles qui approchent le plus de l'équateur, conſervent la leur plus long-tems que les autres.

Quand la bulle d'air eſt dans l'axe, en

en quelque endroit que ce ſoit, elle y eſt retenue par la force centrifuge de l'eau; mais cette force diminue comme le mouvement circulaire, plutôt au pôle qu'ailleurs; la bulle d'air qui s'y trouve, ſort bien-tôt du lieu qu'elle occupe à cauſe de ſa grande légéreté; l'inclinaiſon des parois du verre la conduit obliquement; mais comme en s'avançant ainſi, elle ſe rencontre dans des paralléles plus voiſins de l'équateur, & dans leſquels le mouvement, & par conſéquent la force centrifuge s'eſt conſervée, elle eſt auſſi-tôt repouſſée vers l'axe, & plus près du centre qu'elle n'étoit avant ſon déplacement.

Sur quels fondemens pourroit-on penſer que cette bulle d'air en pareil cas, ait une détermination fixée préciſément au centre? Il arrive à la vérité qu'elle y va quelquefois; mais c'eſt l'effet de quelque accident, balancement ou ſecouſſes dans le fluide, défaut de poſition dans l'axe, &c. car le plus ſouvent elle ne va pas juſqu'à ce terme, ou bien elle paſſe outre.

Le mouvement du fluide plutôt

V. LEÇON.

rallenti aux pôles qu'ailleurs, est aussi la véritable cause par laquelle l'huile rangée en cylindre autour de l'axe, se dilate par les extrémités, dès qu'on arrête le mouvement du verre.

Enfin, quand on incline l'axe de la rotation, les corps qui s'y trouvent se portent au pôle le plus élevé, ou à celui qui l'est le moins, selon qu'ils sont plus légers ou plus pesans que le fluide. Ce qui prouve bien encore qu'ils n'éprouvent du centre aux pôles aucune force qui les sollicite à rester au centre, & qu'ils sont retenus dans l'axe par la force centrifuge, à-peu-près comme ils seroient dans un tuyau, selon la longueur duquel il leur seroit libre de se mouvoir.

Il reste à dire comment une boule de cire que l'on a rendue plus pesante que l'eau, peut être chassée au centre, & y être retenue par la même action qui y conduit un autre corps plus léger que le même fluide : la même cause produit-elle deux effets contraires ?

Si l'on voit aller au centre du mouvement commun un corps qui circule avec un fluide, c'est infailli-

blement qu'il a moins de force centrifuge que ce fluide ; mais cet excès de force dans celui-ci, peut venir ou de sa masse, ou de sa vîtesse. Dans le cas présent, c'est par la vîtesse que l'eau a cet avantage sur la boule de cire : lorsqu'on la tient à quelques pouces de distance de l'axe, on augmente tout-à-coup le mouvement de l'eau qui ne communique pas d'abord toute cette augmentation de vîtesse au petit corps solide ; l'excès de vîtesse qu'elle a sur lui pendant quelques instans, surpasse son excès de masse qui est très-peu considérable ; ainsi la force centrifuge du fluide devenue plus grande que celle de la petite boule flottante, par cet accroissement de vîtesse, chasse cette derniére jusques dans l'axe. Dès qu'elle y est, elle tourne sur elle-même, & ses parties prenant des forces centrifuges directement opposées entre elles, sa pesanteur ne peut agir que selon la direction d'un pôle à l'autre.

APPLICATIONS.

On voit par ces résultats, que la pensée de Descartes sur la cause phy-

ſique de la peſanteur, eſt moins juſte qu'ingénieuſe ; car s'il étoit vrai que les corps tombaſſent vers la terre, par la force centrifuge d'un tourbillon fluide, comme l'huile ou la boule de cire de notre expérience ; leur tendance ne ſeroit pas toujours dirigée au centre du globe, comme les phénoménes les plus connus de la peſanteur nous l'apprennent ; mais à différens points de l'axe, ce qui eſt évident par les expériences précédentes.

M. Hughens éclairé par la ſeule théorie, avoit apperçu cette difficulté bien avant que l'expérience l'eût rendue ſenſible. En trouvant l'hypothèſe d'un ſeul tourbillon inſoutenable, il imagina que le fluide, à la force centrifuge duquel on devoit attribuer la deſcente des corps graves, formoit un grand nombre de tourbillons, dont les révolutions ſe faiſoient en toutes ſortes de ſens. Ce nouveau ſyſtême n'a pas été beaucoup plus heureux que le premier : l'un eſt ſimple ; mais ſon inſuffiſance eſt prouvée : l'autre pourroit peut-être ſatisfaire à l'explication des phénoménes ; mais quel moyen d'admettre une matiére dont

le mouvement ſe fait dans toutes ſortes de directions, ſans ſe détruire? aura-t-elle priſe ſur les autres corps, ſans l'avoir ſur elle-même? & ſi elle ſe heurte en ſens contraire, comment ſon mouvement ſubſiſtera-t-il?

Cette derniére opinion ſur la cauſe de la peſanteur eſſuya beaucoup de contradictions, & donna lieu à des diſcuſſions fort curieuſes; mais quelque ingénieuſes qu'aient été les raiſons qu'on a apportées en ſa faveur, il faut convenir, qu'elles n'ont point été aſſez fortes, pour faire regarder cette queſtion comme décidée, puiſque l'Académie des Sciences la propoſa pour ſujet du prix de l'année 1728.

Celui des mémoires envoyés qui fut couronné, ne ſuppoſe dans le tourbillon que deux mouvemens dont les directions ſe croiſent à angles droits, c'eſt-à-dire, que l'un a pour axe un des diamétres de l'équateur, & que l'autre ſe fait ſur les pôles de ce même cercle, comme l'eau de notre globe de verre.

M. Bulfinger qui eſt l'Auteur de cette nouvelle hypothèſe, voulant,

V. LEÇON.

comme Descartes, rendre son idée sensible par quelque fait, a eu à-peu-près le même sort ; il a imaginé & indiqué un moyen, *Fig*. 24. pour faire tourner en même tems le globe de verre sur deux axes qui se coupent à angles droits. Ce n'étoit point là l'essentiel : il falloit que la masse d'eau contenue dans ce globe, prît les deux mouvemens qu'on suppose dans le tourbillon ; mais c'est ce qui n'arrive pas, & ce qui ne peut arriver ; je suis sûr du fait, pour avoir fait l'expérience avec soin, & pour l'avoir répétée plusieurs fois devant des témoins bien clairvoyans. En appliquant une marque à la surface extérieure du globe de verre, on voit que ces deux rotations n'ont lieu que par rapport au globe seulement ; mais que relativement à quelque point fixe pris au-dehors ou au-dedans de la sphère, l'une des deux se réduit à une espéce de mouvement qui décrit un 8 de chiffre, & dont la révolution entiére par conséquent se fait en deux sens contraires, par rapport aux objets qui sont dehors ou dedans le globe de verre :

d'où l'on voit que l'eau contenue dans ce vaiſſeau ne reçoit pas en même tems deux mouvemens de rotation, comme on le pourroit croire, & comme on l'a prétendu; car le mouvement ſe communique du globe au fluide qu'il renferme, par le frottement de ſa ſurface intérieure; mais quoique ce globe tourne ſur deux ſens, les différens points de ſa ſurface ne décrivent point des cercles qui ſe coupent à angles droits. On ne doit donc pas être ſurpris de ce que, lorſqu'on en vient au fait, les corps légers ne font voir qu'une tendance à l'axe, comme dans les expériences d'une ſeule rotation, & non pas une direction au centre de la ſphère, comme on l'avoit imaginé. Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'an 1741. page 184.

Quoique les hypothèſes & les expériences que nous venons de rapporter, n'ayent point l'avantage d'expliquer d'une maniére bien ſatisfaiſante, pourquoi les corps ſublunaires tendent à ſe porter vers le centre de la terre; nous ſçavons pourtant, à n'en pas douter, qu'une matiére fluide

V. LEÇON.

qui circule, peut précipiter, non-ſeulement des corps plus légers qu'elle, mais même ceux qui ont plus de maſſe. Si ce principe, qui eſt inconteſtable, n'a pas été juſqu'ici appliqué aſſez heureuſement, pour réſoudre pleinement la queſtion, nous ne devons pas déſeſpérer qu'il ne le puiſſe être un jour. Il me paroît plus raiſonnable de croire que d'autres pourront faire ce que nous n'avons pas fait, que de regarder comme abſolument impoſſible ce que nous avons tenté inutilement.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur les deux poulies horizontales de la machine repréſentée par la *Fig.* 16. il faut fixer les deux ſupports *A*, *B*, *Fig.* 20. & 21. les deux lettres précédentes déſignent deux boîtes qui gliſſent fort librement ſur deux fils de métal tendus parallélement d'un bout à l'autre du ſupport, & dont on peut varier les poids, en mettant dedans des rondéles de plomb. *C*, *D*, ſont encore deux boîtes qui gliſſent

verticalement entre deux fils paralléles de métal ſoutenus & tendus par deux potences d'acier : l'on peut auſſi varier leurs poids. Ces boîtes ſont jointes entre elles par des cordons & par des poulies de renvoi ; de maniére que *B* ne peut s'avancer vers le bout du ſupport, ſans enlever d'autant la boîte *D*. Sous chacune des deux premiéres boîtes il y a un petit reſſort très-foible, qui traîne ſur une crémaillére dont les dents ſont preſque à fleur du plan, & qui empêche la boîte de revenir en arriére, quand elle s'eſt avancée. Le ſupport depuis le milieu de ſa longueur juſqu'à ſon extrémité, de part & d'autre, eſt diviſé en pouces & en lignes, pour régler la grandeur de la révolution de chaque boëte *A*, ou *B*, par la longueur du rayon au bout duquel on l'a poſée.

EFFETS.

1°. Les deux boîtes, *A*, *B*, étant également peſantes, comme auſſi les deux autres *C*, *D* : ſi l'on place les deux premiéres à 4 pouces de diſtance du milieu de leurs ſupports,

V. LEÇON.

& qu'on faſſe tourner l'une & l'autre avec des vîteſſes égales, en mettant la corde dans les gorges des deux poulies horizontales, qui ſont égales entre elles; chacune des deux boîtes *A* & *B*, s'échappe en même tems vers l'extrémité de ſon ſupport, & enléve la boîte *C*, ou *D*, qui lui fait réſiſtance.

2°. Le même effet arrive, quand la boîte *A* péſe deux fois autant que l'autre, & que celle-ci eſt au bout d'un rayon une fois plus long. Si, par exemple, *A* peſant 4 onces eſt au chiffre 4, il faut placer *B* peſant 2 onces au chiffre 8.

3°. Mais ſi les poids reſtant égaux, l'on met l'une des deux boîtes à 4, & l'autre à 8 de diſtance, celle-ci part, & la premiére reſte en place, à moins qu'on n'augmente le mouvement.

4°. Enfin, tout étant diſpoſé comme dans le cas précédent, ſi l'on veut que les deux boîtes, *A*, & *B*, s'échappent en même tems, il faut doubler le contrepoids de celle qui eſt à une diſtance double du centre, & cela réuſſit.

V.
LEÇON.

EXPLICATIONS.

Nous avons dit ci-dessus que l'estimation des forces centrifuges dépendoit de trois choses ; de la masse du corps qui circule, de sa distance au centre du mouvement, & du tems périodique de sa révolution. Dans les expériences que nous venons de citer, les tems périodiques sont égaux, parce que les deux poulies horizontales sur lesquelles sont établis les deux supports, & qui leur distribuent l'action du moteur commun, sont toutes deux de même grandeur : le milieu de chaque support est toujours le centre de la révolution, & par conséquent on en régle la grandeur par la distance que l'on met entre le centre & la position de la boîte : la masse du mobile est connue par le plomb dont on le charge ; & l'on peut connoître la quantité de la force centrifuge, par la valeur du poids *C*, ou *D*, qu'elle enlève, & qui doit être considéré comme une force centripéte.

Dans le premier cas, & dans le second, les forces centrifuges paroif-

V. LEÇON.

ſent égales dans les deux mobiles, puiſqu'ils enlévent dans le même inſtant des réſiſtances égales. Et elles le ſont en effet: car d'abord la maſſe, la diſtance au centre, le tems périodique, tout eſt égal de part & d'autre : enſuite les maſſes à la vérité, & les diſtances au centre ſont différentes; mais comme elles ſont en raiſon réciproque, l'une compenſe l'autre. Car nous avons dit & prouvé que la force centrifuge augmente autant par la vîteſſe que par la maſſe : or ici la vîteſſe dépend de la diſtance au centre, puiſque les tems périodiques ſont égaux; ce ſont deux mobiles, dont l'un décrit un cercle une fois plus grand que l'autre dans le même tems, n'eſt-ce point aller avec une vîteſſe double? Ainſi comme 2 de vîteſſe & 1 de maſſe équivalent à 2 de maſſe & 1 de vîteſſe, les forces centrifuges de nos deux mobiles font égales, quand leurs diſtances au centre ſont en raiſon réciproque de leur poids.

Dans le troiſiéme cas, la vîteſſe eſt plus grande dans l'un des deux; il décrit un plus grand cercle, dans le

tems que l'autre en parcourt un plus petit ; la force centrifuge doit donc être auſſi plus grande : & le quatriéme cas nous apprend que cet excès ſuit celui de la vîteſſe, puiſque la force qui en réſulte, enléve une réſiſtance double.

APPLICATIONS.

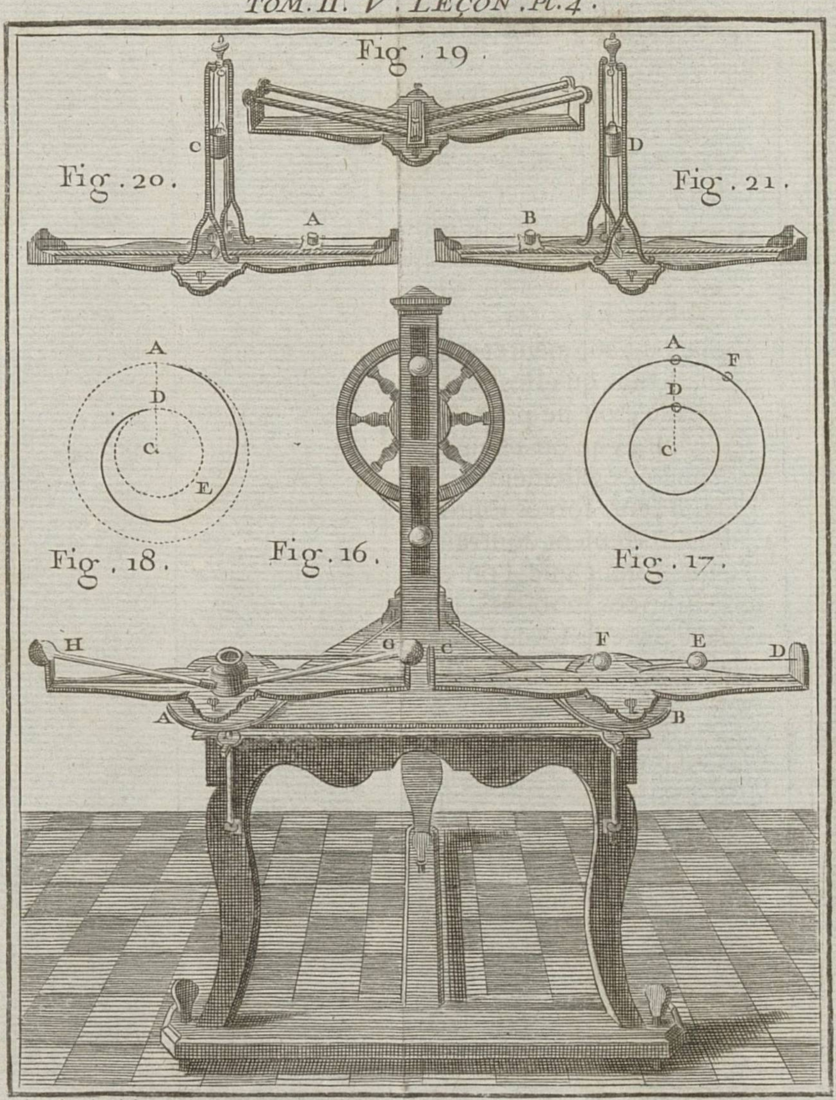
Lorſque l'on a poſé l'une des deux boîtes *A*, ou *B*, de l'expérience précédente, à une certaine diſtance du centre ; ſi la dent de la crémailléré ne la retenoit en place, on conçoit aiſément que le poids *C*, ou *D*, l'entraîneroit par le rayon à l'extrémité duquel elle eſt. On voit auſſi que quand on la fait tourner avec aſſez de rapidité, ſa force centrifuge la fait aller dans un ſens contraire, & que les dents de la crémailléré n'ont rien à faire. Mais entre ces deux excès, il eſt un certain dégré de force centrifuge, qui feroit un juſte équilibre avec le poids *D* ; & s'il pouvoit ſubſiſter, il eſt hors de doute que le mobile continueroit ſes révolutions, ſans s'approcher, ni s'éloigner du centre.

C'eſt une choſe qui devient évi-

V. LEÇON.

dente, si l'on se rappelle le troisiéme cas de la premiére expérience. Deux boules d'ivoire, de poids égaux, liées par un fil, & placées à distances égales du centre de leur mouvement, se font réciproquement équilibre, & ne se déplacent point, avec quelque vîtesse qu'on les fasse tourner. Les masses étant égales, leurs forces centrifuges ne peuvent augmenter que par la vîtesse; mais tant qu'elles sont dans le même cercle, on ne peut augmenter celle de l'une, qu'on n'augmente en même tems & également celle de l'autre; ainsi leurs forces sont toujours égales & directement contraires. Dans quelque instant que l'on considère donc un de ces mobiles, il est en équilibre entre sa force centrifuge & celle de son antagoniste; & c'est par cette égalité de forces opposées, qu'il s'entretient constamment à la même distance du centre, ou, (ce qui est la même chose,) que ses révolutions sont toujours semblables entre elles.

Les corps célestes ont des mouvemens qui doivent s'expliquer selon ces principes. Si la Lune tourne autour de la terre, la terre elle-même


Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 21.
C
D
A
B
Fig. 18.
Fig. 16.
Fig. 17.
A
D
C
E
A
F
D
C
H
G
C
F
E
D
A
B
Dheulland del. et sculp.

& les autres planétes autour du Soleil, en faisant des révolutions si bien réglées, qu'un Astronome en connoît la durée & l'étendue avec une certaine précision; c'est que tous ces astres sont sollicités en même tems par deux puissances: d'un côté la force centrifuge, qui résulte de leur mouvement presque circulaire, tend à les éloigner du centre de cette révolution; du côté opposé, ils sont retenus par une force centripéte, dont l'existence est avouée de tous les Philosophes, quoiqu'ils soient encore peu d'accord sur la nature de cette force. Si l'une de ces deux forces cessoit d'agir, ces grands mobiles viendroient se précipiter au centre du monde; ou bien ils iroient se perdre dans l'immensité des cieux: mais n'ayons point de pareilles craintes, & ne nous arrêtons point à de vaines fictions. L'Etre qui a été assez sage, pour arranger l'univers tel qu'il est, a pourvû à la durée de ses oeuvres, par des loix sur l'infaillibilité desquelles nous devons compter.

Nous ne nous étendrons pas davantage ici sur l'application que l'on

V. LEÇON.

peut faire des forces centrales aux mouvemens des corps céleſtes ; parce que nous en traiterons à part dans la Leçon qui regarde le ſyſtême général du monde.

APRE'S avoir fait connoître d'où naiſſent les forces centrales, & de quelle maniére on doit en faire l'eſtimation, je pourrois examiner les différens rapports qu'elles peuvent prendre entr'elles, & toutes les ſortes de courbes qui peuvent naître de ces changemens : mais ces queſtions ne peuvent guère ſe traiter comme il convient, ſans employer des démonſtrations géométriques, qui ne ſeroient point entendues par la plûpart de ceux pour qui j'écris. D'ailleurs ce ſeroit paſſer les bornes que je me ſuis preſcrites, dans des Leçons où je n'ai prétendu enſeigner que par voie d'expérience. Je paſſerai donc légérement ſur cet article, & je me contenterai de faire entrevoir méchaniquement les principaux effets qui doivent arriver, lorſque les forces centripétes & centrifuges ne perſévéreront point dans le même rapport

pendant

pendant une ſeule, ou pendant plu-ſieurs révolutions de ſuite. V. LEÇON.

Pour prendre une idée des différentes formes que peut recevoir la courbe de révolution par ces changemens, prenons un fil que nous replierons ſur lui-même, & dont nous joindrons les deux bouts enſemble par un nœud. Qu'il ſoit retenu d'une part à une épingle fixée perpendiculairement à quelque plan, & de l'autre qu'on le tienne tendu avec le bout d'un crayon, comme on le voit en la *Fig.* 25. Le crayon ſera le mobile; l'effort que l'on fera pour tenir le fil tendu, exprimera la force centrifuge; & la longueur du fil, ou plutôt la diſtance qu'il entretiendra de l'épingle au crayon, repréſentera la force centripéte.

Si l'on promène le crayon ſur le plan autour de l'épingle, & que le fil le tienne toujours à une diſtance égale, il eſt évident que la ligne de ſa révolution ſera un cercle; puiſque pendant tout le tems de ſon mouvement, il aura été au bout d'un rayon de même longueur; & l'on jugera avec raiſon qu'un mobile fait une

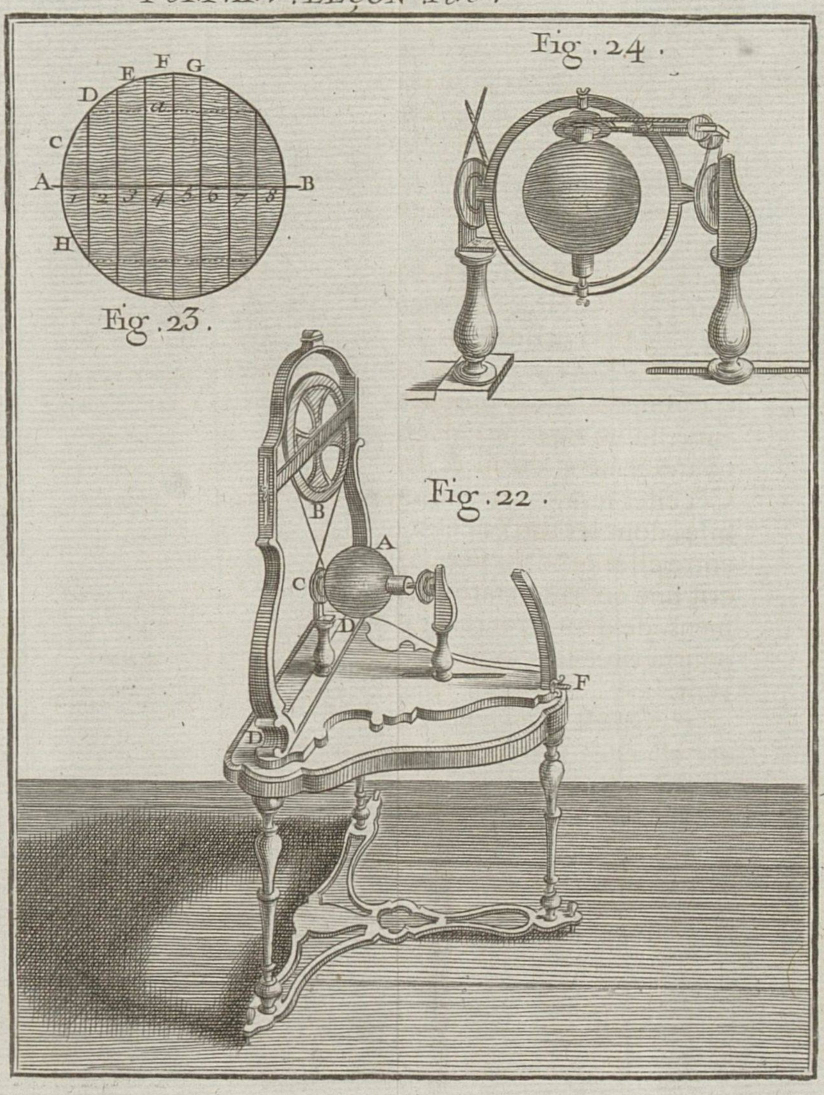
V. LEÇON.

révolution parfaitement circulaire ; quand ſes forces centrales ne changent point, pendant qu'il ſe meut.

Mais ſi pendant qu'on proméne le crayon, on diminue la diſtance qui eſt entre l'un & l'autre, en faiſant prendre au fil la forme d'un triangle, comme *a d c*, *Fig.* 25. ou autrement, la ligne de révolution, au lieu d'être la circonférence d'un cercle, comme ci-devant, ſera toute autre courbe comme *b c*, dont la nature dépendra des proportions qu'on aura miſes entre les dégrés de raccourciſſement du fil & leurs durées. Cet effet fera comprendre qu'un mobile, dont les forces centrales varient entre elles pendant ſa révolution, décrit une courbe relative aux changemens de leurs rapports ; & l'on en pourra tirer les conſéquences qui ſuivent.

1°. Que ſi les rapports qui auront été changés pendant la révolution, ſe rétabliſſent dans leur premier état, avant qu'elle ſoit entiérement finie, la courbe que décrira le mobile, telle qu'elle puiſſe être, rentrera ſur elle-même ; & ſi les rapports des forces

TOM. II. V. LEÇON Pl. 5.



varient ensuite, comme ils ont varié d'abord, la seconde révolution sera parfaitement semblable à la premiére, &c.

V. LEÇON.

2°. Que si ces rapports ne se rétablissent point, & que la force centripéte, par exemple, soit plus foible au commencement de la seconde révolution, qu'elle n'étoit lorsqu'on a commencé la premiére, la courbe ne sera point rentrante; le mobile, en s'éloignant du centre de son mouvement, décrira des spires plus ou moins réguliéres, selon le progrès de la force centrifuge, ou la diminution de la force centripéte.

Enfin, pour donner un exemple des courbes réguliéres qui peuvent résulter de la variation des forces centrales, au lieu de retenir le fil par un seul point fixe, attachons deux épingles, *F*, *f*, *Fig.* 26. & faisons toujours mouvoir le crayon de maniére que le fil soit aussi tendu qu'il peut l'être; nous aurons par la révolution entiére une espéce d'ovale, que les Géométres appellent *ellipse*. Le caractère principal de cette courbe est, que deux lignes tirées des points *F*, *f*, (qu'on nomme

V. LEÇON.

les foyers,) à tel point que ce puiſſe être de la circonférence, comme *F G*, *f G*, ou bien *F L*, *f L*, que ces deux lignes, dis-je, priſes enſemble, égalent la longueur du grand axe *HI*.

Un mobile décrit donc une ellipſe, lorſque par les variations des forces centrales, ſa diſtance à l'un des deux foyers *F*, ou *f*, diminue, & augmente réguliérement, comme les lignes *FH*, *FM*, *FG*, &c. & réciproquement, quand on lui voit décrire une pareille courbe, on peut légitimement conclure, que les forces centrales ſe mettent dans les rapports convenables, pour le mettre ſucceſſivement dans tous les dégrés de diſtance d'où elle procéde.

Ces différens mouvemens s'exécutent encore fort bien, avec la même machine que nous avons employée précédemment, & qui eſt repréſentée par la *Fig.* 16. en y joignant ce qui ſuit.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 27. repréſente une table

ronde, qui a environ deux pieds & demi de diamétre, ouverte au centre par un trou rond large de 3 pouces; cette table s'attache ſolidement & parallélement ſur celle de la machine, *Fig.* 16. mais de maniére qu'il reſte entre l'une & l'autre une diſtance d'environ un pouce, pour donner la liberté au mouvement de la poulie horizontale *A* ou *B* : au centre de cette poulie on fixe avec des vis une eſpéce d'alidade coudée, ſur la longueur de laquelle gliſſe très-librement une boîte *R*, qui péſe environ 2 onces, & ſous laquelle on a attaché un porte-crayon. En *S* eſt un barillet garni d'un reſſort, & qui tire à lui la boîte *R*, par le moyen d'un cordonnet de ſoie, qui tient d'une part au porte-crayon, & de l'autre à une fuſée qui tient au barillet, & ſur laquelle il fait pluſieurs tours.

EFFETS.

Lorſqu'on fait tourner la poulie horizontale, l'alidade ſe met en mouvement; & pendant qu'elle circule, la boîte gliſſe d'*r* en *R*, & le crayon marque ſur un carton qui couvre la

V. LEÇON.

table ronde, une ligne ſpirale qui commence en *r*, & qui finit en *R*.

EXPLICATIONS.

La boîte *R* mue circulairement reçoit une force centrifuge : dès que cette force vient à excéder la puiſſance du reſſort qui retient le mobile, celui-ci s'éloigne auſſi-tôt du centre de ſon mouvement. Il gliſſe en ligne droite ſur l'alidade ; mais c'eſt une ligne droite qui ſe meut elle-même, & dont tous les points décrivent des cercles concentriques. Ainſi, comme le mobile paſſe par tous les points de cette ligne, à la fin de chaque révolution il ſe trouve dans la circonférence d'un plus grand cercle que celui où il étoit, en la commençant, & de ce double mouvement naît la ſpirale qu'on trouve tracée ſur la table après l'expérience.

APPLICATIONS.

C'eſt par des lignes ſemblables à celle que nous venons de faire connoître, que viennent au centre du mouvement tous les corps qui circulent avec d'autres dont la force

centrifuge prévaut. L'huile colorée du globe rempli d'eau, la paille qu'on fait tourner avec le grain pour l'en séparer, les corps qui flottent sur une eau qui tourne, &c. tous ces mobiles ne viennent point en ligne droite au centre commun, c'est toujours en circulant de maniére que la courbe qu'ils décrivent rentrant au-dessous d'elle-même, diminue jusqu'à zero l'étendue de ses révolutions ; ce qui est la même chose que d'aller au centre par une ligne spirale.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les choses demeurent disposées comme dans l'expérience précédente, excepté seulement qu'au lieu du barillet à ressort, on ne met qu'une petite poulie qui tourne horizontalement ; & au point *T*, *Fig.* 28. une autre petite poulie, dont l'axe est aussi vertical. Dessous la boîte *V* est encore une poulie qui tourne sur le porte-crayon ; & un fil dont les bouts sont liés ensemble comme celui de la *Fig.* 25. embrasse les trois poulies.

V.
LEÇON.

EFFETS.

Lorſqu'on met l'alidade en mouvement avec une vîteſſe ſuffiſante, le mobile *V* décrit exactement l'ellipſe *TVX*, dont les deux foyers ſont *T*, *Y*; & s'il fait pluſieurs révolutions, c'eſt toujours en repaſſant ſur la même ligne.

EXPLICATIONS.

La force centrifuge du mobile tient toujours le fil auſſi tendu qu'il peut l'être ; mais à cauſe des deux points fixes *TY*, ſa diſtance au point *Y* diminue & augmente ſucceſſivement & réguliérement, comme celle du crayon au point *F* de la *Fig.* 25. c'eſt pourquoi ſa révolution ſe fait exactement dans une ligne ſemblable à celle de cette figure ; & comme les circonſtances demeurent les mêmes, pendant les révolutions ſuivantes, le mobile continue auſſi de ſe mouvoir dans la même ellipſe.

APPLICATIONS.

La connoiſſance de l'ellipſe, & de ſes principales propriétés, eſt d'autant plus

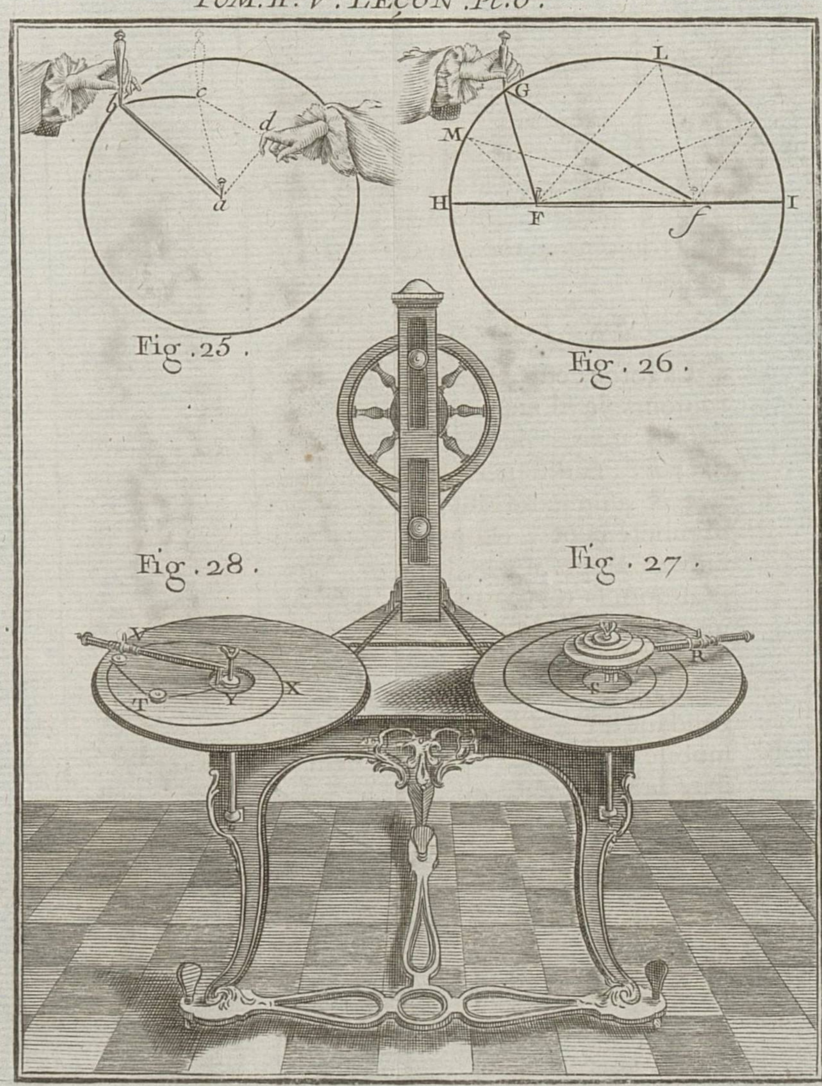


Fig. 25.

Fig. 26.

Fig. 28.

Fig. 27.

tant plus intéressante, que tous les corps célestes font leurs révolutions dans des courbes rentrantes de cette espéce; l'Astronomie plus éclairée maintenant qu'elle ne l'étoit dans des tems reculés, n'admet plus ces cercles excentriques, ausquels on étoit obligé d'avoir recours, pour expliquer certaines variations que l'on observe depuis long-tems dans les distances des astres; c'est un sentiment presque universellement reçu, que les *aphélies* & *périhélies* des planétes primitives, que les *apogée* & *périgée* de la Lune, sont des suites nécessaires d'un mouvement elliptique; mais ne prévenons point ici ce que nous devons dire ailleurs touchant les mouvemens célestes; contentons-nous d'avoir établi des principes que nous rappellerons, lorsque l'ordre des matiéres demandera que nous expliquions la forme, la durée, les rapports, &c. de ces révolutions, & que nous tâchions d'en indiquer les causes physiques.





VI. LEÇON.

Sur la Gravité ou Pesanteur des Corps.

ON appelle *gravité* ou *pesanteur*, cette force qui fait tomber les corps de haut en bas, lorsque rien ne s'oppose à leur chûte, ou que les obstacles ne sont pas suffisans pour les arrêter.

Les Philosophes ne sont point d'accord entre eux sur la cause de cette force. Les différentes opinions que cette question a fait naître, peuvent se ranger en deux classes; dans les unes on regarde la pesanteur comme un principe de la nature, comme une qualité inhérente & primordiale des corps, qui peut n'avoir d'autre cause que la volonté tout-à-fait libre du Créateur; & c'est couper court à toutes difficultés : dans les autres on prétend qu'elle est l'effet de quelque matiére invisible; mais les preuves sur

VI. LEÇON.

lesquelles ces opinions sont appuyées (il faut l'avouer) ont essuyé de grandes objections, ausquelles il ne paroît pas qu'on ait encore pleinement répondu.

Dire avec Aristote & avec ceux qui l'ont suivi, que les corps en se portant de haut en bas, obéissent à un principe qui les fait tomber; ce n'est rien dire qui puisse éclairer l'esprit.

Regarder avec Newton la pesanteur des corps sublunaires, comme la suite naturelle d'une gravitation générale, qu'on observe dans toute la nature, & dont il a si bien calculé les loix; c'est abandonner la cause pour s'attacher à l'effet.

Prétendre avec la plûpart des Newtoniens d'aujourd'hui, que cette pesanteur des corps qui nous environnent, n'est qu'un exemple particulier d'une tendance ou *attraction* réciproque, que tous les êtres matériels ont naturellement les uns vers les autres, par la seule volonté de Dieu; c'est introduire en Physique une nouveauté qui s'est présentée à l'esprit de Newton, comme à celui de plusieurs Philosophes avant lui, * mais qu'il n'a pas

* *Kepler, Frenicle, Roberval.*

voulu qu'on lui imputât, s'il en faut croire ses propres paroles. *

VI. LEÇON.

* *Philos. Naturalis Princ. Mathem. tom. I, pag. 11. ed. Genev.*

Mais aussi attribuer, comme Gassendi, la chûte des corps à certains écoulemens d'une matiére qui agisse comme celle de l'aimant; n'est-ce point indiquer une cause bien obscure, bien vague, & dont l'existence n'est fondée sur rien de certain?

Enfin nous avons vû en parlant des forces centrifuges, quelle a été la pensée de Descartes sur cette question, en quoi son hypothèse est défectueuse, ce que plusieurs grands hommes ont fait depuis pour la rendre recevable, & pour la défendre; & tout bien considéré, il semble que ceux qui voudront n'entendre, sur la cause physique de la pesanteur, que des explications qui soient en même tems satisfaisantes & intelligibles, ne doivent point les chercher dans aucun ouvrage, qui soit connu jusqu'à présent.

Tenons-nous-en donc aux phénoménes; si la cause échappe à notre curiosité, nous avons de quoi nous en dédommager, par la connoissance des effets: autant celle-là est incer-

VI. LEÇON.

taine, autant celle-ci eſt bien conſtatée, & ce qu'elle peut nous apprendre eſt également curieux & utile.

Avant Galilée, c'eſt-à-dire, il y a environ un ſiécle & demi, on étoit peu inſtruit des loix de la peſanteur: c'eſt à ce Philoſophe Italien que nous ſommes redevables des plus intéreſſantes découvertes qu'on ait faites ſur cette matiére. Sa théorie a été généralement reçue de tous les Sçavans, & c'eſt ſur ſes fondemens que Meſſieurs Hughens, Newton, & Mariotte, ont travaillé depuis avec tant de ſuccès & d'applaudiſſemens. Je ne me propoſe point de faire entrer dans cette leçon, tout ce que ces grands hommes ont enſeigné touchant la peſanteur; cette entrepriſe excéderoit les bornes que je me ſuis preſcrites, & c'eſt dans leurs écrits mêmes qu'il faut les étudier, quand on veut ſçavoir tout ce qui eſt connu ſur cette matiére; mais en ſuivant toujours le plan que je me ſuis fait, dès le commencement de ce Cours, je ferai choix des propoſitions les plus intéreſſantes, & je les appuierai ſur des preuves d'expérience.

Je traiterai d'abord des effets qui

viennent de la peſanteur ſeule ; & je paſſerai enſuite à ceux où cette force n'entre que pour une part.

VI. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

Des Phénoménes où la Peſanteur agit ſeule ſur le Mobile.

IL ne faut point confondre ces deux termes, *peſanteur* & *poids*, quand on les prend dans le ſens abſolu, c'eſt-à-dire, quand ce qu'ils expriment s'entend d'un ſeul corps, ſans aucune comparaiſon avec d'autres corps. Par *peſanteur*, on doit concevoir la force qui ſollicite les corps à deſcendre, & qui leur fait parcourir de haut en bas un certain eſpace, dans un tems donné. Par *poids*, nous entendons la ſomme des parties peſantes qui ſont contenues ſous le même volume.

La peſanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps ; qu'elles ſoient unies ou ſéparées, cette force n'en eſt ni augmentée, ni diminuée : mais le poids d'un corps

VI. LEÇON.

change comme la quantité de matiére qui le compose. Qu'on laisse tomber en même tems deux onces de plomb, elles descendront avec la même vîtesse, soit qu'elles tiennent ensemble, soit qu'elles soient séparées; mais le poids dans l'une des deux, n'est que la moitié de ce qu'il seroit, si elles ne faisoient qu'un même corps.

On peut donc dire en parlant exactement, qu'un petit corps a autant de pesanteur qu'un plus grand de la même matiére, quoiqu'il ait moins de poids, parce que l'un & l'autre tendent de haut en bas avec la même vîtesse.

Mais quand on compare deux matiéres ensemble par rapport à leurs poids, & que l'on prend un volume déterminé pour terme de comparaison, comme lorsque l'on compare un pouce cube d'eau avec un pouce cube de mercure, le poids comparé s'appelle pesanteur *spécifique*, c'est-à-dire, la quantité de parties pesantes dont une matiére surpasse l'autre ou en est surpassée, sous un volume donné. On dira donc, par exemple, la pesanteur (en sous-entendant *spé-*

cifique) de l'eau eſt à celle du mercure comme 1 eſt à 14, pour dire que le dernier de ces deux fluides, à volume égal, a 14 fois autant de poids que l'autre. Nous donnerons à la fin de l'Hydroſtatique, une table des peſanteurs ſpécifiques des matiéres les plus vulgairement connues; mais avant que d'en venir à cet examen, tout ce que nous dirons doit s'entendre de la peſanteur abſolue.

Quoiqu'on ne puiſſe pas dire que la gravité eſt eſſentielle à la matiére, puiſqu'on la peut concevoir, ſans ce penchant qu'elle a pour aller vers le centre de la terre; cependant une longue & continuelle expérience ne nous permet pas de croire, que de tous les corps qui ſont en notre pouvoir, il y en ait aucun exempt de cette affection. Si quelques Philoſophes ont penſé qu'il y eût des corps naturellement légers, c'eſt qu'ils ont été trompés par les apparences, & qu'ils ignoroient des choſes qu'on a ſçûes depuis. Ces corps qu'ils ont vu ſe mouvoir de bas en haut, comme les vapeurs, la fumée, la flamme, &c. n'affectent cette direction con-

VI. LEÇON.

traire à celle de la pesanteur, que parce qu'ils sont dans certaines circonstances qui les y forcent. Que l'on fasse cesser ces causes, & bien-tôt on les verra tomber comme tous les autres corps, & prouver par leur chûte, qu'ils pésent comme eux, & dans le même sens.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

On met sur la platine d'une machine pneumatique, un bout de grosse chandelle allumée, ou bien un petit morceau de papier trempé dans une liqueur faite avec l'étain & le mercure, & qui fume beaucoup; on met dessus un récipient cylindrique de verre, qui a 4 pouces de diamétre & environ un pied de hauteur; & l'on fait le vuide le plus promptement & le plus parfait qu'il est possible. Voyez la *Fig.* 1.

Effets.

Après quelques coups de piston, la flamme de la chandelle s'éteint, & quand l'air est suffisamment raré-

fié, la fumée de la méche, ou la vapeur qui s'eſt élevée du papier retombe à la maniére des corps graves. & s'étend ſur la platine.

EXPLICATIONS.

La flamme ne pouvant ſubſiſter dans un air trop raréfié, par des raiſons que nous dirons ailleurs, lorſqu'on a diminué la denſité de celui qui eſt dans le récipient, la chandelle s'éteint; mais lorſque cet air eſt raréfié à un certain dégré, non-ſeulement la fumée ou la vapeur ne s'y éléve plus, mais celle même qui avoit gagné le haut du récipient, ſe précipite, parce que le fluide qui l'environne étant moins peſant qu'elle ſpécifiquement, ne peut ni la ſolliciter à monter, ni s'oppoſer efficacement à ſa chûte. Il ne faut point paſſer légérement ſur ce principe, parce qu'il ſert à expliquer une infinité de phénomènes de cette eſpéce. Examinons donc en détail ce qui ſe paſſe dans cette expérience, & voyons comment l'air & la fumée changent de peſanteur relativement l'un à l'autre.

Une matiére raréfiée eſt celle qui,

VI. LEÇON.

ſous un volume donné, n'a plus un auſſi grand nombre de parties propres, qu'elle en avoit avant ſa raréfaction. L'air du récipient, après pluſieurs coups de piſton, eſt réduit à un petit nombre de parties, ſans rien perdre de ſon volume, car il remplit toujours le récipient; chaque portion priſe au hazard dans ce vaiſſeau, contient donc moins de particules d'air, ou bien eſt compoſée de parties beaucoup plus écartées les unes des autres, qu'elles ne l'étoient avant la raréfaction. Ainſi comme le poids ſuit le nombre des parties matérielles, une ligne cube de cet air péſe moins qu'une ligne cube du même air non raréfié. Ce que nous diſons de ce petit volume doit s'entendre, par proportion, d'une ſuite de volumes ſemblables poſés les uns ſur les autres en forme de colonne; d'où l'on peut concevoir, que ſi la maſſe d'air contenue dans le récipient eſt diviſée en un certain nombre de colonnes pareilles, chacune d'elles péſera plus ou moins, ſuivant que la maſſe totale aura été plus ou moins raréfiée.

La fumée, ou la vapeur dont la

ſource eſt placée au fond du vaiſſeau, peut être auſſi conſidérée ſous des petits volumes, dont la ſuite ſera une colonne; & ſi l'on compare un volume de vapeurs à un pareil volume d'air, on conçoit bien que celui des deux qui a le plus de parties peſantes, a plus de forces pour aller à l'endroit le plus bas, ou pour s'y tenir.

Ainſi l'air étant dans ſon état naturel, éléve les vapeurs, la fumée, la flamme, &c. parce qu'à volume égal, il a plus de poids; mais quand on l'a raréfié, c'eſt-à-dire, quand on a diminué le nombre des parties peſantes de ce volume égal, il ne peut plus les élever, il ne peut pas même les ſoutenir, & la fumée répandue dans le vaiſſeau, ſe trouvant alors plus peſante relativement à l'air, qui a changé de denſité, le déplace à ſon tour, par ſa gravité naturelle.

APPLICATIONS.

De tous les corps qui ſont à la ſurface de la terre, il ſe détache continuellement des corpuſcules qui, lorſqu'ils ont quitté la maſſe dont ils faiſoient partie, ſe répandent & s'élé-

VI. LEÇON.

vent dans l'atmoſphère, juſqu'à ce que certaines circonſtances les déterminent à retomber. Ces petits corps connus ſous le nom de *vapeurs* & d'*exhalaiſons*, ſont la matiére d'une infinité de phénoménes admirables, étonnans & néceſſaires relativement à nos beſoins. Nous ferons mention ailleurs des différentes formes qu'ils prennent, & de leurs principaux effets ; nous ne voulons parler ici que de leurs mouvemens, c'eſt-à-dire, de la maniére dont ils s'élévent & retombent, à quoi nous conduit naturellement l'expérience que nous venons d'expliquer.

Cette queſtion peut ſe réduire à quatre chefs principaux, ſçavoir, 1°. comment ces corpuſcules ſe détachent de leurs maſſes ; 2°. par quelle cauſe ils s'élévent dans l'air ; 3°. de quelle maniére ils s'y ſoutiennent à une certaine hauteur ; 4°. & enfin, pourquoi il arrive qu'ils retombent vers la ſurface de la terre.

Quant à la premiére demande, l'opinion la plus univerſellement reçue eſt, qu'il regne ſur notre globe, & au-dedans, un certain dégré de cha-

leur qui entretient en mouvement les parties insensibles de tous les corps. Ce mouvement, dit-on, détermine celles de ces parties qui sont les plus subtiles, & par conséquent les plus mobiles, à quitter la masse commune, comme on le remarque visiblement à la surface de l'eau que l'on fait chauffer, des viandes & des fruits que l'on fait cuire.

Il est assez vraisemblable que la chaleur naturelle ou artificielle, soit la cause principale de cet effet; mais on a peine à croire qu'elle soit la seule, quand on considère que l'évaporation ne diminue pas toujours comme la chaleur. Dans les hyvers les plus rigoureux, on voit quelquefois d'un jour à l'autre disparoître la neige qui couvroit la surface de la terre; & l'expérience a fait voir à plusieurs habiles Physiciens, que la glace diminue considérablement dans l'air le plus froid & le moins exposé aux rayons du soleil.

Je ne sçais s'il faudroit en conclure, selon l'opinion d'un Auteur *

* Muschenbroek dans ses comment. sur les exper. de Florence, 1. part. p. 137. *Ed. de Leide*, 1731.

VI. LEÇON.

fort versé dans la Physique expérimentale, que la glace a un principe interne de dilatation qui n'est point la matiére du feu, ni le dégré de chaleur qui a pû s'y conserver, mais le mêlange d'une autre matiére très-subtile qui la fait comme fermenter.

Ne pourroit-on pas s'en tenir à des principes connus & avoués de tous les Physiciens, en disant que dans les cas où il ne paroît pas qu'on puisse attribuer l'évaporation à la seule action du feu, on doit en chercher la cause dans la grandeur des surfaces, dans leur état, ou dans la nature du fluide ambient, par rapport à celle des corps qui s'évaporent? Car toutes choses égales d'ailleurs, il est certain qu'un cube de glace isolé présente à l'air six fois plus de surface, que l'eau d'un vase dont l'ouverture seroit égale à un des côtés de ce cube : les parties évaporables ont donc six fois plus de liberté de s'échapper de la masse.

Mais à surfaces égales en apparence, n'a-t-on pas lieu de croire que les parties de la glace donnent plus de prise à l'air que celles de l'eau? N'en est-il

eſt-il pas de ce fluide comme de tous les autres? à meſure qu'il approche de la congélation, ſa fluidité ne diminue-t-elle point par dégrés? les parties ne commencent-elles point par ſe pelotonner, avant que de ſe lier enſemble? Et ſi la glace n'étoit qu'un aſſemblage de ces petites maſſes, ou petits composés plus groſſiers que les parties de l'eau, ſa ſurface raboteuſe, ſinon pour nos ſens, au moins pour un contact proportionné à ces petites rugoſités, ne donneroit-elle pas plus de priſe à l'air qui la touche?

Si ceci n'eſt qu'une conjecture par rapport à la glace, on ne peut nier que ce ne ſoit une choſe évidente par rapport à la neige. Au premier coup d'œil on remarque que ſa ſurface eſt un aſſemblage de molécules légeres & à jour, pour ainſi dire, de tous côtés; & cette légéreté eſt d'autant plus grande que la neige s'eſt formée dans un tems plus froid.

Mais quel avantage prétendons-nous tirer de cette augmentation de ſurface pour l'explication du fait dont il s'agit? En ſuppoſant que la maſſe

VI. LEÇON.

d'air qui environne les corps puiſſe contribuer à leur évaporation, d'une autre maniére que par le dégré de chaleur qu'elle peut leur communiquer, il eſt certain que cet air aura d'autant plus d'action ſur les corpuſcules évaporables, qu'il les touchera dans une plus grande étendue, ou (ce qui eſt la même choſe) que ces petits corps tiendront par moins d'endroits à leur maſſe commune. On peut donc dire en général, que les mêmes parties d'un corps (de l'eau par exemple) ſont d'autant plus diſpoſées à s'exhaler, qu'elles ſont plus iſolées; & qu'en conſéquence, la neige ou toute autre congélation de ce genre peut s'évaporer autant, & peut-être plus que l'eau contenue dans un vaſe.

Mais que peut faire, dira-t-on, l'air extérieur ſur ces petites parties preſque iſolées ?

Non-ſeulement il aura plus d'avantage pour les détacher de la maſſe, en les heurtant de côté & d'autre, mais il employera pour les enlever directement, les mêmes moyens qui les font monter, quand elles ſont entiérement détachées.

Celui de ces moyens qui est le plus connu & le plus généralement reçu, c'est son excès de pesanteur. On dit communément que ces petits corps, qui forment les vapeurs & les exhalaisons, étant spécifiquement moins pesans que l'air qui les environne, s'élévent dans l'atmosphère, comme la fumée de notre expérience s'est élevée dans l'air du récipient, & qu'ils montent ainsi jusques dans la moyenne région, où ils se trouvent en équilibre avec un air plus rare : la difficulté a toujours été de faire entendre, comment les parties évaporées des corps terrestres pouvoient acquérir cette légéreté respective, capable non-seulement de les élever au-dessus de l'air, mais encore de vaincre la résistance du frottement, qui s'oppose continuellement à leur ascension : on a toujours peine à comprendre comment de l'eau, par exemple, peut devenir plus légère qu'un fluide, qui, à volume égal, pése environ 800 fois moins qu'elle.

Quand on suppose ces particules fort divisées, leur extrême petitesse aide à concevoir comment elles se

VI. LEÇON.

soutiennent en haut par le frottement, qui s'augmente comme les surfaces multipliées par la division ; mais cette réponse qui léve une difficulté, quand il ne s'agit que d'expliquer la suspension des vapeurs, en fait naître une autre très-considérable, quand on examine leur ascension. Car le même frottement qui les soutient, leur fait obstacle, quand elles ont à monter, & cet obstacle est d'autant plus grand qu'elles sont plus divisées.

D'ailleurs que gagne-t-on par cette division, si chaque partie, (quelque petite qu'elle soit,) immédiatement environnée d'air, reste telle qu'elle étoit dans la masse d'où elle s'est échappée? Le volume d'air qui lui répond, ne décroît-il pas dans la même proportion ? Et si l'eau en général pése 800 fois plus que l'air, ce rapport se trouvera dans les plus petits volumes, comme dans les plus grands.

Il faut donc de deux choses l'une, ou que les parties qui s'exhalent des corps changent d'état en quittant la masse, ou que l'air, qui les touche, emploie, pour les enlever, un autre moyen que sa pesanteur.

Cette considération a fait naître quelques hypothèses fort ingénieuses : on a supposé que chacune de ces particules étoit un petit ballon rempli d'un air subtil, que la chaleur dilate, à peu près comme les boules de savon dont les enfans se divertissent. » Cette vésicule, dit-on, est plus légère que le volume d'air auquel elle » répond dans l'atmosphère, & son » excès de légéreté peut être tel, » qu'il surpasse encore la résistance du » frottement. »

L'imagination est ingénieuse, il faut l'avouer, & je crois qu'il ne seroit point impossible de lui conserver de la vraisemblance; mais s'il faut de la chaleur pour donner à ces petits ballons un volume suffisant, nous n'aurons guère de vapeurs en hyver ? ou s'il en faut si peu pour les enfler, comment ne créveront-ils pas en été?

D'autres cherchant dans la dilatation des vapeurs, un principe de légéreté suffisante, ont considéré les parties comme autant de molécules, dont les pores agrandis & distendus par l'action du feu, augmentent leur

volume autant & plus, que leur premiére densité n'excédoit celle de l'air. Suivant cette opinion, une particule d'eau réduite en vapeurs, sera, par exemple, 1000 ou 1200 fois plus grande qu'elle n'étoit, & par conséquent elle répondra à un volume d'air plus que suffisant pour la soulever. Cette grande dilatabilité des vapeurs est appuyée sur des expériences qu'on ne peut révoquer en doute, & que nous rapporterons, quand l'ordre des matiéres le permettra; mais elle exige un dégré de chaleur beaucoup plus grand que celui qui regne ordinairement dans les corps qui commencent à s'évaporer; & si partant d'un tel exemple, lorsqu'on voit des vapeurs s'élever par un tems frais, on conclud qu'il fait assez chaud pour les dilater au point d'être plus légéres que l'air, il paroît que c'est supposer ce qui est en question : je crois qu'il y a une grande différence entre la simple évaporation, & la dilatation des vapeurs.

Mais si la chaleur naturelle ne peut le plus souvent que contribuer à détacher ces corpuscules de leurs mas-

ſes, & qu'elle ne les mette pas toujours en état de s'élever, ſi l'air d'ailleurs ne peut par ſon poids ſeul les forcer de monter tels qu'ils ſont; quel eſt donc le moyen que la nature ajoute à cette premiére cauſe? Car il eſt certain que les vapeurs s'élévent en tout tems, il n'y a que du plus ou du moins.

S'il m'eſt permis de hazarder ici mes conjectures, je dirai que l'air de l'atmoſphère fait en même tems l'office de diſſolvant & d'éponge à l'égard des corps qu'il touche immédiatement. Comment conçoit-on que de l'eau douce devient ſalée, quand on la met dans un vaiſſeau au fond duquel il y a du ſel? C'eſt que la liqueur s'inſinuant dans les pores du corps ſolide, ſe rejoint elle-même de tous côtés deſſous les parties qui compoſent la ſurface, les ſouléve enfin, & les diviſe à tel dégré, que ces parties elles-mêmes entrent dans les pores de l'eau, de la même manière, & par la même cauſe que celles de l'eau ont pénétré le ſel. Plus les parties du ſel ſont iſolées, plus le ſel eſt poreux, plus il eſt humide, avant qu'on le

VI. LEÇON.

plonge, & plus auſſi ſa diſſolution devient facile ; & l'on en voit la raiſon, ſans qu'il ſoit beſoin de la dire : de même les corps qui s'évaporent, continuellement plongés au fond d'une maſſe d'air ſpongieuſe, fourniſſent une quantité de vapeurs d'autant plus abondante, que leurs parties ſont plus expoſées à l'action de ce fluide, & qu'il eſt lui-même par ſon état actuel, plus diſpoſé à les admettre dans ſes pores. Je n'oſerois dire que l'air s'inſinue dans les pores des corps ſolides ou des liquides, comme l'eau dans du ſucre ou du ſel qu'elle diſſout ; mais je n'avancerai rien que de croyable, quand je dirai, que, puiſqu'il y a dans tous les corps une très-grande quantité d'air diſſéminé, leurs ſurfaces ſont compoſées de molécules dont un très-grand nombre n'eſt que de l'air, & que cet air communique à d'autre qui fait de même, partie des couches inférieures; tellement que la matiére propre de ces corps, lorſqu'ils ſont environnés d'air, reſſemble à un grain de ſel humide qu'on plonge dans l'eau, & qui eſt d'autant plus diſſoluble qu'il a été plus

plus pénétré d'eau avant que d'être plongé. La surface qui nous paroît la plus unie, présente donc à l'air qui la touche, des parties isolées, & qui ne tiennent à la masse que par un petit nombre de points ; & comme il n'y a aucune matiére connue, en tel état qu'elle puisse être, dont les parties soient parfaitement en repos les unes à l'égard des autres, il n'y a donc à la superficie des corps aucune particule qui ne soit disposée plus ou moins à céder aux efforts de l'air qui l'entoure.

Mais si l'air est comme on l'imagine, pour expliquer son élasticité, un corps spongieux dont les parties ressemblent à de petits filamens ou à de petites lames spirales ; pour enlever les petites parties des corps dont nous venons de parler, il n'aura pas besoin d'autre force, que celle qui s'observe tous les jours dans les corps de cette espéce ; car comme le sel s'éléve dans une masse d'eau, à mesure qu'elle le dissout, quoique ses parties soient plus pesantes que celles de l'eau, comme l'eau s'éléve dans du sucre, malgré son propre poids, de même on

VI. LEÇON.

pourra dire que les vapeurs & les exhalaiſons, ſans devenir plus légères que l'air, s'élévent dans l'atmoſphère ſuivant la proportion qu'il y a entre elles & la poroſité du fluide.

Il eſt vrai qu'on ne ſçait pas bien comment les liqueurs s'élévent au-deſſus de leur niveau, dans une éponge, dans les tubes capillaires & autres corps ſemblables; car de dire que l'attraction eſt la cauſe de cet effet, c'eſt ne ſatisfaire qu'une partie du monde, encore n'eſt-ce pas celle qui n'admet que des idées claires & intelligibles; mais on eſt parfaitement d'accord ſur le fait; & quand je dis que les vapeurs montent dans l'atmoſphère, comme l'eau dans une éponge, je ne prétends pas remonter juſqu'à la premiére cauſe; je m'en tiens à la cauſe prochaine & immédiate; en un mot, je ne me propoſe que d'expliquer un fait par un autre, ce qui eſt très-permis en Phyſique.

Je ne puis étendre ici cette idée autant qu'il le faudroit pour lui donner toute la vraiſemblance dont elle eſt ſuſceptible; cette digreſſion nous éloigneroit trop de notre objet pré-

ſent ; j'aurai occaſion de la reprendre & de la ſuivre plus loin, en parlant des tuyaux capillaires ; j'ajouterai ſeulement que ſi cette derniére cauſe ajoutée aux autres, que nous ne rejettons point, les rend ſuffiſantes pour former & pour élever les vapeurs, elle pourra de même contribuer à les tenir ſuſpendues, juſqu'à ce que l'atmoſphère venant à changer de denſité, ſoit par compreſſion, ſoit par condenſation, ſoit même par dilatation, ces petits corps ſuſpendus ſe rapprochent, pour former des maſſes plus peſantes, ou bien qu'ils ſoient ſeulement abandonnés à leur propre poids ; comme on voit qu'il arrive dans le récipient d'une machine pneumatique, où l'on apperçoit un petit brouillard après les premiers coups de piſton, parce que l'air en ſe raréfiant abandonne les corps étrangers qu'il contient *.

Pour revenir à notre premiére expérience, il eſt donc certain qu'Ariſtote & ceux qui l'ont ſuivi, ſe ſont trompés, lorſqu'ils ont prétendu qu'il y a des corps qui tendent naturellement à ſe mouvoir de bas en haut.

* *Mem. de l'Acad. des Scien.* 1740. p. 252.

VI. LEÇON.

Ce que nous avons dit touchant les faits qui leur en ont imposé, suffit pour faire entendre qu'il n'y a point de légéreté absolue, & que les corps à qui l'on donne improprement le nom de légers, sont ceux qui ont peu de poids ou de matiére propre sous un grand volume.

On peut considérer dans la pesanteur comme dans toute autre force, la *direction*, & l'*intensité*, c'est-à-dire, la mesure, ou la quantité de son action sur les corps.

La direction de la pesanteur est toujours la même; les corps qui tombent librement, se dirigent d'eux-mêmes vers la surface de la terre, par une ligne perpendiculaire à l'horizon, comme il paroît, quand on en fait l'épreuve sur une eau dormante; & s'ils décrivent quelquefois en tombant des lignes obliques ou des courbes, c'est qu'ils y sont forcés par des obstacles: telle est la chûte d'un pendule pendant sa demi-vibration; il ne décriroit pas un arc de cercle, s'il n'étoit retenu par le fil ou la verge qui l'oblige de tourner autour du point de suspension.

Au lieu d'exprimer la direction de la pesanteur, par une perpendiculaire à l'horizon, on l'exprime souvent, par une tendance au centre de la terre, ce qui signifieroit la même chose, si notre globe étoit parfaitement sphérique; car alors tous les rayons prolongés du même point, seroient autant de perpendiculaires à la surface. Mais cette hypothèse n'est plus ni reçue, ni recevable; & si le globe terrestre est un sphéroïde applati vers les pôles, comme il y a tout lieu de le croire, le compas & la régle font voir, que les lignes dirigées perpendiculairement à tous les points de sa surface n'aboutissent pas au vrai centre, mais à différens points qui composent un espace autour du centre. Mais comme cet espace est fort petit, à cause du peu de différence qu'il y a entre la figure attribuée à la terre, & celle d'une sphère parfaite; on peut sans erreur sensible, & quand il ne s'agit point de cette question, garder l'expression commune, & prendre le centre de la terre pour celui des corps graves.

Quant à l'intensité de la pesanteur,

VI. LEÇON.

on peut demander, 1°. si elle est la même dans tous les corps, dans tous les tems, dans tous les lieux. 2°. Si elle varie suivant l'état des corps. 3°. Si elle peut augmenter dans le même mobile, & comment se font ses progrès.

L'expérience ne peut nous apprendre qu'à peu près, combien un corps parcourt d'espace dans un certain tems, en vertu de la pesanteur qui l'anime, parce qu'il a toujours à vaincre des obstacles inséparables de l'état naturel, comme en éprouvent les corps qui obéissent à toute autre puissance. La résistance des milieux qui varie comme leurs densités, la figure du corps qui tombe, le rapport de sa masse à son volume, & quelque autre considération dont nous parlerons dans la suite, empêchent qu'on ne sçache bien exactement la mesure de la pesanteur primitive, & telle qu'elle seroit, si elle n'étoit diminuée par des causes étrangères. On sçait seulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, une balle de plomb, ou tout autre corps qui auroit beaucoup de matiére avec

peu de volume, parcourt dans l'air libre environ 15 pieds de France dans la premiére seconde de sa chûte : on verra bientôt pourquoi j'embrasse toutes ces circonstances dans cette proposition.

VI. LEÇON.

On croyoit autrefois que la pesanteur & le poids étoient synonymes ; & que les corps tomboient d'autant plus vîte, qu'ils avoient plus de masse. Il y avoit effectivement quelque vraisemblance à croire qu'un mobile composé de quatre parties pesantes, devoit tendre davantage au terme de la pesanteur, que celui qui n'en auroit qu'une ou deux ; & ce qui achevoit d'induire en erreur, c'est qu'on voyoit une plume, un papier, un ballon de laine, &c. tomber toujours plus lentement qu'une pierre, un morceau de métal, &c. mais un *plus* ou un *moins* ne décident rien, quand il n'a point de proportion avec la cause que l'on soupçonne. Galilée vit bien comme Aristote, qu'une plume tomboit moins vîte qu'une livre de plomb ; mais il mesura ce *moins*, il le compara avec l'excès de masse du corps le plus prompt à tomber, &

VI. LEÇON.

il trouva qu'il ne répondoit pas à la différence qu'il y avoit entre les poids des deux mobiles. Il prit donc une autre idée de la pesanteur, & au lieu de penser, comme on avoit fait jusqu'alors, qu'il y en avoit plus dans le plomb que dans la plume, il imagina que cette force étoit égale dans l'une & dans l'autre, mais que la résistance du milieu se faisoit plus sentir sur celui des deux corps qui avoit le moins de matiére. Ce raisonnement étoit bien fondé, & nous en ferons connoître toute la justesse en expliquant l'expérience qui suit.

II. EXPERIENCE.

Preparation.

On établit solidement sur la platine d'une machine pneumatique, un chassis qui contient un tuyau de verre qui a six pieds de longueur, deux pouces $\frac{1}{2}$ de diamétre, plus large & ouvert par ses deux extrémités *A*, *B*, *Fig.* 2. on joint en haut par le moyen d'un anneau de cuir mouillé, une platine de cuivre sous laquelle est fixée la chappe d'une piéce qui tourne verti-

calement, & qui ſe diviſant en ſix rayons, forme autant de pinces à reſſort. Cette piéce eſt repréſentée ſeule de face dans la *Fig.* 3. & elle ſe voit de côté en *CD Fig.* 4. ſon axe porte un pignon à lanterne qui engréne une roue à chevilles *F*, en-arbrée ſur une tige de cuivre bien cylindrique qui traverſe la platine & un collet *G* rempli de cuirs gras. Le bout de cette tige eſt fixé à un rouleau *H* au-deſſus duquel eſt un anneau qui répond à un lévier *I*, & ce lévier ſe meut par le moyen d'un cordon; *K* eſt un barillet garni d'un reſſort de montre, pour contretirer le cordon qui enveloppe, & qui fait tourner le rouleau *H*.

Avant que de placer cette piéce ſur le tuyau de verre, il faut avoir ſoin de garnir les ſix pinces en mettant à chacune deux petits corps dont les volumes ſoient à peu près ſemblables, mais qui différent en poids: de ſorte cependant que ces différences ne ſoient pas également grandes dans chaque paire. Ainſi l'on pourra mettre, par exemple, dans la premiére un morceau de plomb & une plume; dans la ſeconde, un morceau

VI. LEÇON.

de cuivre & une petite feuille de papier ; dans la troiſiéme un morceau de bois & un morceau de fer, &c.

Lorſqu'on a raréfié l'air dans le tuyau le plus qu'il eſt poſſible avec la pompe, en tirant la corde *L*, on fait tourner la roue *F*, pour mettre une des pinces dans une ſituation verticale, comme *D* ; on tire enſuite le cordon *M*, pour élever la roue *F*, dont le bord preſſe le petit lévier *n*, & fait ouvrir la pince ; celle-ci ayant fait ſon office, on en fait paſſer une autre de même, & ainſi de ſuite juſqu'à la derniére.

Effets.

Tous ces corps échappant deux à deux, tombent en même tems, & ne laiſſent appercevoir aucune différence ſenſible dans la durée de leur chûte.

Mais ſi l'on recommence l'expérience, en laiſſant le vaiſſeau plein d'air dans ſon état naturel, ceux qui ont le plus de poids tombent plus vîte, & la lenteur des autres eſt plus ſenſible à meſure que leur maſſe eſt moins grande. Ainſi le bois tombe plus len-

tement que le fer; mais sa lenteur n'est pas si grande que celle du papier & de la plume. VI. Leçon.

On peut faire la même expérience sans un aussi grand appareil, en se servant d'un tuyau de verre, long de 4 à 5 pieds, & d'un pouce ou environ de diamétre, dans lequel on enferme une piéce de métal & un morceau de papier de même grandeur: le tuyau étant absolument fermé par un bout & garni d'un robinet par l'autre, on l'applique à la machine pneumatique pour y faire le vuide, après quoi on l'ôte; & en le renversant tantôt d'un bout, tantôt de l'autre, on voit autant de fois qu'on le veut, que le morceau de papier tombe dans le vuide, aussi vîte que le métal; & qu'il n'y a de différence de l'un à l'autre, à cet égard, que quand le tuyau est plein d'air.

Explications.

La premiére partie de cette expérience prouve évidemment & directement, que la pesanteur est égale dans tous les corps, & que les différences qu'on apperçoit dans leurs chûtes,

VI. LEÇON.

ne doivent être attribuées qu'à la résistance des milieux par lesquels ils tombent: puisqu'en supprimant ou en diminuant beaucoup cette résistance, les tems qu'ils emploient à descendre de hauteurs égales, sont sensiblement les mêmes. La seconde partie nous apprend comment nous devons évaluer ces différences que nous remarquons dans la chûte des graves qui différent entr'eux par leur quantité de matiére. Car si nous regardons la pesanteur comme une vîtesse commune & égale dans tous les graves, les quantités de mouvement, ou les forces de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entr'elles que par la masse. Supposons donc un morceau de plomb qui pése 12 onces, & un morceau de bois de même volume & de même figure qui en pése une : puisque la vîtesse initiale, ou la pesanteur de ces deux mobiles est la même, leurs quantités de mouvement, au premier instant de leur chûte, seront comme leurs masses, c'est-à-dire, 1 dans celui-ci, & 12 dans l'autre. Supposons maintenant que pendant leurs chûtes,

la résistance du milieu rallentisse leur mouvement d'un demi-dégré; cette diminution sera égale dans l'un & dans l'autre, puisque c'est le même milieu, que les volumes sont égaux & les figures semblables : mais le morceau de plomb qui a perdu un demi-dégré de mouvement, en a encore 11 $\frac{1}{2}$, au lieu que le morceau de bois, par une semblable perte, ne s'en trouve plus avoir qu'un demi; dans l'un le mouvement est rallenti seulement de la douziéme partie, dans l'autre il l'est de la moitié, quoique ces deux effets procédent de la même cause.

APPLICATIONS.

Le principe que nous venons de prouver par l'expérience précédente, est d'une grande importance; aussi n'a-t-on rien négligé pour le mettre dans tout son jour. M. Newton l'a confirmé par les vibrations de plusieurs boules suspendues, dont il a mis les diamétres & les poids en différens rapports : nous ferons voir incessamment que cette espéce de mouvement est un effet de la pesanteur;

VI. LEÇON.

ainſi quand deux boules de même poids, de même groſſeur, & ſuſpendues à des fils égaux, continuent de balancer auſſi long-tems dans le même air, elles font voir qu'elles ſont animées par des peſanteurs égales : & l'on doit perſévérer dans le même ſentiment, quoique la diminution du poids y apporte une différence, ſi, comme l'expérience le fait voir, cette différence ne ſuit pas le rapport des maſſes.

Meſſieurs Frenicle & Mariotte éprouverent d'après Galilée, la chûte directe des corps à de grandes hauteurs; mais perſonne ne fit ces ſortes d'épreuves dans des circonſtances plus avantageuſes que celles où ſe trouva M. Deſaguilliers * en profitant de la grande élévation du dôme de S. Paul à Londres, & des lumiéres de Meſſieurs Newton, Halley, &c. qui voulurent être préſens.

* *Tranſact. Philoſoph. n. 362. art. 4.*

On fit tomber pluſieurs corps de différens poids, & de différens volumes, de la hauteur de 272 pieds; & l'on remarqua que deux boules dont les diamétres étoient d'environ 5 pouces $\frac{1}{2}$, & qui peſoient l'une

2610 grains, & l'autre 137 ½, employerent des tems fort différens à tomber de toute cette hauteur; car la plus pesante acheva sa chûte en 6 secondes ½, & celle de l'autre en dura près de 19 : ce qui fait bien voir que la vîtesse des corps qui tombent, n'est point proportionnelle à leur masse; car dans cette derniére expérience, les deux boules, quant au poids, sont à peu près dans le rapport de 19 à 1; & toutes les autres circonstances sont égales pour l'une & pour l'autre; cependant il s'en faut bien que la plus pesante tombe 19 fois plus vîte que l'autre, car au lieu de 6 secondes, elle n'auroit dû en employer qu'une.

Il est facile d'expliquer maintenant, pourquoi la même matiére devient plus lente à tomber, à mesure qu'elle se divise, ou qu'elle augmente de volume, comme un morceau de bois que l'on réduit en coupeaux minces, un jeu de cartes, ou un paquet de plumes qui n'est pas lié. La chûte d'une grosse pluie est bien différente de celle de la neige; & l'eau qui tombe, sans se diviser, fait un effort bien

VI. LEÇON.

plus considérable que celle qui se réduit en gouttes, & qui s'étend dans l'air qu'elle traverse.

Sans cette résistance de l'air, qui retarde, & qui divise les corps, dont les parties ne sont point fortement liées, on verroit avec autant de danger que d'étonnement une potée d'eau jettée par une fenêtre, tomber sur le pavé, avec autant de bruit & d'effort qu'un glaçon de même poids. S'il y en avoit la valeur d'une pinte; autant vaudroit presque recevoir sur la tête une pierre du poids de deux livres, qui tomberoit de la même hauteur. Mais la surprise ne dureroit pas longtems, pour ceux qui seroient au fait des principes que nous expliquons. Car ils sçauroient qu'une masse liquide qui tombe par quelque milieu matériel que ce soit, éprouve une résistance directe en sa partie inférieure, & un frottement aux surfaces latérales: que ces deux sortes de résistances retardent davantage ce qui est exposé à leur action immédiate que le reste, & qu'ainsi le mobile, dont les parties ne sont presque point liées, doit en peu de tems changer

de

de figure, & ſe diviſer; mais ces deux derniers effets doivent ceſſer, quand la cauſe qui a coutume de les produire, ne ſubſiſte plus.

VI. LEÇON.

Une expérience preſqu'auſſi ancienne que la machine pneumatique, & qui, pour n'avoir pas le mérite de la nouveauté, n'en eſt pas moins curieuſe, prouve admirablement bien ce que nous diſons ici de la chûte des liqueurs.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un tube de verre un peu fort, *Fig.* 5. dont le diamétre égale 8 ou 10 lignes, on met quelques pouces d'eau; & après avoir fait le vuide dans le reſte de la capacité, on le ſcelle à la lampe d'un Émailleur, en *A*.

EFFETS.

Quand on ſecoue ce tube perpendiculairement, l'eau ſe trouve élevée toute d'une piéce, à la hauteur de quelques pouces, comme en *B*; & en retombant de même ſur le fond, elle

VI. LEÇON.

fait le même bruit & le même effort qu'un corps solide; & ce son est beaucoup plus aigu, quand on réserve une boule creuse, & mince en la partie supérieure, comme on le voit par la figure.

EXPLICATION.

Si dans ce vaisseau il y avoit de l'air tel que celui de l'atmosphère, depuis la surface de l'eau *C* jusqu'en *A*, lorsque par la secousse on éléveroit l'eau de *C* en *B*, la colonne d'air contenue dans cette partie prendroit sa place pour un instant, & l'eau en retombant rencontreroit ce fluide flexible qui retarderoit sa chûte, & qui après une division réciproque, lui céderoit sa premiére place; mais quand il n'y a que de l'eau dans le tube, & que rien ne la désunit, elle retombe toute ensemble, & la base de cette colonne liquide frappe immédiatement le fond du vaisseau, comme pourroit faire un cylindre solide du même poids.

APPLICATIONS.

Le mercure d'un barométre, (si l'ins-

trument eſt bien fait,) ſe trouve dans le même cas que l'eau de cette derniére expérience ; quand on le fait balancer dans le tube, ſi la ſecouſſe eſt forte, on court riſque de caſſer le verre, & l'on entend toujours le coup, comme celui d'un corps ſolide, parce que la partie ſupérieure du tuyau eſt vuide d'air, & que le mercure heurte immédiatement le fond.

LE tems n'apporte par lui-même aucune différence à la peſanteur des corps ; à moins qu'on ne ſuppoſe, (mais pourquoi le ſuppoſeroit-on ?) que les changemens qui lui arrivent, ſont uniformes & proportionnels dans toute la nature, car pour ce qui eſt des poids comparés, ce qui péſe une livre, continue toujours de peſer exactement une livre, tant que la quantité de matiére reſte la même. On en peut juger par les peſanteurs ſpécifiques de matiéres connues ; l'or, par exemple, eſt conſtamment dans le rapport de 19 $\frac{1}{2}$ à 1 avec l'eau pure. Il eſt vrai que ces quantités ſont ſujettes à de petites différences ; mais il eſt plus raiſonnable de les attribuer

VI. LEÇON.

aux différens états des matiéres, au froid, au chaud, à la ſécheresſe, à l'humidité, &c. que de les rejetter ſur une cauſe inconnue qu'on n'a pas lieu de ſoupçonner. S'il arrive tous les jours qu'un corps devienne plus ou moins peſant qu'il n'étoit, on doit faire attention qu'il a perdu ou acquis des parties matérielles qui augmentent, ou diminuent ſa maſſe. Une éponge, ou quelque corps équivalent, ſuſpendue au bras d'une petite balance, & expoſée aux impreſſions de l'air, devient tantôt plus, tantôt moins peſante : c'eſt que l'humidité qui regne dans l'air, ajoute à ſon poids en certain tems, & qu'au contraire elle en ſort, quand il fait plus ſec. Cette explication eſt ſi naturelle & ſi bien reçue, que bien des perſonnes emploient ce moyen pour connoître l'humidité ou la ſécheresſe de l'air. On ſçait que le bois flotté eſt plus léger que le bois neuf, faudroit-il en conclure que la peſanteur varie ? n'eſt-il pas viſible que cette diminution de poids vient de ce qu'il a perdu une partie de ſa ſubſtance ? Au moins ne peut-on pas douter que l'eau ne lui

aït fait perdre une grande partie de ſes ſels ; car la leſſive que l'on fait de ſa cendre, en contient peu, & par cette raiſon elle eſt moins propre qu'une autre à blanchir le linge. VI. Leçon.

Si quelques expériences ont paru indiquer des changemens dans le poids d'une même matiére, nous ne devons donc point croire qu'elles puiſſent prouver, comme quelques perſonnes l'ont cru, que la peſanteur varie par ſucceſſion de tems; il nous paroît plus vraiſemblable que ceux qui les ont faites, auront été trompés par quelque défaut dans l'exécution, qui aura échappé à leur vigilance. Les poids des pendules, des horloges, des tournebroches, &c. ſont des preuves d'expérience qu'on peut leur oppoſer, & qu'on ne peut révoquer en doute.

Mais ſi le tems n'apporte aucune variation à la peſanteur des corps, cette force ne change-t-elle pas ſelon les lieux?

Lorſqu'on fait attention que le centre des corps graves eſt celui de la terre, on peut être porté à croire qu'à une diſtance plus ou moins grande de

VI. LEÇON.

ce terme, la pesanteur pourroit bien n'être pas la même. Mais quand, pour comparer cette force à elle-même, nous l'avons éprouvée aux plus grandes hauteurs & profondeurs qui nous soient accessibles, & que nous n'y appercevons aucune différence, il semble qu'il soit permis de croire qu'elle est uniforme par-tout. Aussi l'a-t-on supposé avant qu'on eût trouvé des raisons pour croire le contraire.

Newton nous assure, (& Newton mérite qu'on l'écoute,) que cette puissance secréte qui sollicite les corps à tomber vers la terre, agit moins sur eux, quand ils en sont plus éloignés; il fait plus, il nous donne des régles pour évaluer cette diminution, & comme s'il eût porté la balance jusqu'aux Astres, il veut que l'on croie, qu'une pierre qui commenceroit à tomber de la Lune, ne feroit pas plus de chemin en une minute, qu'elle en fait ici-bas en une seconde; c'est-à-dire, qu'à une telle hauteur, elle tomberoit 3600 fois plus lentement qu'elle ne fait aux environs de la surface de la terre.

S'il est étonnant que ce Philosophe ait osé prononcer ainsi sur des cho-

ſes qui paroiſſent au-deſſus des forces de l'eſprit humain, on doit être encore bien plus ſurpris qu'il ne les ait pas données comme des ſyſtêmes, mais qu'il ait appuyé tout ce qu'il a avancé, ſur des preuves & ſur des démonſtrations (*a*). A la vérité, Newton n'a pas démontré que la force centripéte de la Lune ſoit la même que celle des autres corps qui appartiennent à notre globe; mais il l'a ſuppoſé avec beaucoup de vraiſemblance.

VI. LEÇON.

Comment donc peut-on ſçavoir ce qui ſe paſſe à la Lune, pour en parler avec tant de hardieſſe, & pour avoir encore l'avantage de ſe faire croire?

C'eſt dans les ouvrages même de M. Newton, ou dans des extraits plus amples que ceux que nous pouvons nous permettre ici, qu'il faut étudier ſes penſées & ſes preuves. Ce qu'il a enſeigné touchant la peſanteur des corps, eſt lié avec tout le ſyſtê-

(*a*) Quoique la théorie de M. Newton s'accorde bien avec la plûpart des obſervations aſtronomiques, cependant on eſt obligé de convenir, par rapport à la Lune, que la loi ſuivant laquelle il fait diminuer la peſanteur, n'eſt pas recevable. Voyez ce qu'en dit M. Clairaut, *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1745.

me général du monde qu'il a plus
VI. heureusement concerté qu'aucun au-
LEÇON. tre Philosophe ; & il est assez difficile de se former une idée bien juste de cette partie, quand on la sépare des autres avec lesquelles elle a une connexion nécessaire. Nous nous contenterons donc de faire seulement entrevoir ici, comment il est possible de juger de la pesanteur des corps à la hauteur de la Lune, par celle qu'ils ont ici-bas ; en supposant que la force centripéte de la Lune n'est autre chose que cette gravité qui fait que tous les corps qui sont près de nous, tendent à descendre vers le centre de la terre.

Supposons que *T*, *Fig. 6.* représente la terre, *L* la Lune, *LQRS* l'orbite de cet astre, c'est-à-dire, la révolution qu'elle fait autour de la terre dans l'espace de près d'un mois. On connoît assez bien la distance qu'il y a de la terre à la Lune, c'est à-peu-près 60 fois le demi-diamétre du globe terrestre, voilà des quantités connues depuis long-tems, & sur lesquelles tout le monde est d'accord.

En parlant des forces centrales dans

dans la Leçon précédente, nous avons fait connoître qu'un corps qui circule, ne le fait qu'en conséquence d'une force qui le pousse, ou qui le tire toujours vers un même point, pendant qu'une autre force le sollicite à se mouvoir dans une autre direction. Lorsque nous voyons tourner la Lune autour de nous, nous pouvons donc conclure en toute sûreté qu'elle a une force centripéte, ou, ce qui est la même chose, qu'elle pése vers la terre.

Nous avons fait voir aussi en parlant du mouvement composé, que si un mobile obéit en même tems à deux puissances, comme *LP*, *LC*, on connoît le rapport de ces deux puissances par la diagonale *LQ* que ce corps décrit.

Comme on sçait le tems que la Lune est à parcourir tout son orbite, on connoît aussi celui qu'elle emploie pour en décrire une petite portion, comme *LQ* : & par-là on peut juger du chemin qu'elle auroit fait en pareil tems, si elle n'avoit obéi qu'à l'une des deux puissances. Si, par exemple, *LQ* est ce qu'elle parcourt

VI. LEÇON.

de ſon orbite en une heure, *L P* repréſente la quantité dont elle deſcendroit en une heure, ſi elle ſuivoit l'impulſion de la ſeule peſanteur.

C'eſt à-peu-près de cette maniére que Newton eſt venu à bout de connoître qu'un corps grave, en commençant à tomber de la Lune, parcourroit à-peu-près 15 pieds dans l'eſpace d'une minute; puis comparant cette vîteſſe à celle des corps qui obéiſſent ici-bas à la peſanteur, il la trouva 3600 fois moins grande; car une pierre qui tomberoit librement pendant une minute, parcourroit 3600 fois 15 pieds, ou bien 54000 pieds: d'où il conclut que la peſanteur décroît comme le quarré de la diſtance augmente; car 3600 eſt le quarré de 60, & la Lune eſt 60 fois plus éloignée du centre de la terre que les corps qui ſont comme nous à la ſurface.

Si nous pouvions nous élever à des hauteurs aſſez conſidérables, ce ſeroit une choſe bien curieuſe de conſtater cette théorie par quelque expérience; mais nos plus hautes montagnes ne ſont pas ſuffiſantes, & quand on les

ſuppoſeroit de deux lieues perpendiculaires au-deſſus du terrein le plus bas où nous puiſſions deſcendre, on voit par le calcul que le décroiſſement de la peſanteur ſeroit encore inſenſible dans des chûtes directes & non retardées (*a*).

VI. LEÇON.

Si une diſtance plus ou moins grande des corps graves au centre de la terre, a pu faire reconnoître quelque variation dans leur peſanteur, la différence des climats devoit-elle faire naître de ſemblables ſoupçons? Dans un tems

(*a*) Lorſque j'écrivois ceci, nous ne jouiſſions point encore des connoiſſances acquiſes par les Académiciens envoyés au Pérou, pour les meſures relatives à la figure de notre globe. Feu M. Bouguer nous a appris dans ſon livre de la *Figure de la Terre*, publié en 1749, qu'ayant comparé par les oſcillations d'un corps grave, les effets de la peſanteur au bord de la mer, avec ceux de cette même force meſurés ſur le ſommet du Pichincha, montagne dont la hauteur eſt de 2434 toiſes, il avoit trouvé que le pendule à ſecondes, devoit être plus court d'une demi-ligne & un peu plus, dans ce dernier lieu que dans le premier; ce qui marque une diminution de peſanteur dont ce Sçavant fait voir qu'on ne peut attribuer qu'une très-petite partie à la force centrifuge réſultante d'une rotation plus rapide dans l'endroit le plus élevé de la terre.

VI. LEÇON.

ſur-tout où la figure de la terre étoit encore réputée ſphérique, tous les lieux de ſa ſurface ne devoient-ils point paroître indifférens pour cette tendance au centre ?

Dès qu'on a ſuppoſé que la terre ſe meut en 24 heures autour de ſon axe, on auroit pu faire attention, que toutes les parties de ſa ſurface ne tournent pas également vîte; celles qui ſont ſous l'Equateur, décrivant des cercles beaucoup plus grands que celles qui avoiſinent les pôles, comme nous l'avons fait voir en expliquant l'expérience du globe de verre dans la Leçon précédente *. Cette conſidération conduiſoit naturellement à penſer que tous les corps qui ſont à la ſurface de notre globe, participant à ſon mouvement, ont une force centrifuge; que cette force contraire à la peſanteur doit être plus grande vers l'Equateur que vers les pôles; & qu'ainſi la peſanteur doit diminuer, à meſure qu'on eſt plus près de cette partie de la terre. Mais avant Deſcartes & M. Hughens il n'étoit guère queſtion de forces centrifuges; & ſi Copernic, en propoſant

* 6. *Exper.* *Fig.* 22. & 23.

ſon hypothèſe, l'eût encore chargée de cette nouveauté, il y a bien de l'apparence que dans ſon tems elle n'eût pas été mieux reçue que le reſte.

VI. LEÇON.

L'Académie des Sciences y penſa dès qu'elle fut formée; & en 1672. elle recommanda cet objet à M. Richer, lorſqu'il alla, par ordre du Roi, à l'Iſle de Cayenne, ſituée à-peu-près à 5 dégrés de latitude, pour des obſervations qu'on ne peut faire dans notre climat; cela donna lieu à une découverte plus intéreſſante ſans doute que toutes celles qu'on s'étoit propoſées. M. Richer obſerva qu'un pendule qui battoit les ſecondes à Paris, meſuroit des tems plus longs dans le pays où il étoit.

Un pendule eſt un inſtrument compoſé d'un corps peſant, comme une balle de plomb, par exemple, qui décrit des arcs autour d'un point fixe, par le moyen d'un fil ou d'une verge mince qui le tient ſuſpendu. Nous ferons voir dans la ſuite de cette Leçon, que ſon mouvement, que l'on nomme *oſcillation*, eſt un effet de la peſanteur, & qu'il eſt plus ou moins prompt, ſelon que le fil de ſuſpenſion

a plus ou moins de longueur.

VI. LEÇON.

M. Richer s'étant donc bien assuré que son pendule réglé à Paris pour battre les secondes, retardoit à la Cayenne, y remédia en le raccourcissant d'une quantité dont il tint un compte exact; & cette expérience répétée depuis par plusieurs bons Observateurs, & en dernier lieu par les Académiciens qui sont allés au Pérou, & par ceux qui ont fait le voyage du Nord, pour les mesures qui ont rapport à la figure de la terre, a toujours fait connoître que les corps tombent plus lentement vers l'Equateur qu'ailleurs, & que ce retardement diminue, à proportion que la latitude du lieu augmente.

Fondé sur cette connoissance on a compté plus que jamais sur le mouvement journalier de la terre; & comme cette rotation, une fois admise, imprime aux parties du globe des forces centrifuges, qui ne sont point égales dans toute son étendue, on commença à former des doutes sur sa figure qui passoit pour sphérique dans l'opinion commune.

Tant que l'on a considéré la terre

comme immobile, il étoit vraiſemblable qu'elle fût une ſphère parfaite, parce que ſes parties n'obéiſſant qu'à une peſanteur égale, devoient former autour du centre commun de leur gravité, des rayons ou des colonnes de même longueur, pour ſe mettre en équilibre. Mais ſi cette gravité primitive ſe trouve diminuée par une force contraire, & que cette diminution ne ſe faſſe point en quantités égales dans toute l'étendue du globe, il n'eſt guère poſſible d'accorder l'équilibre de ſes parties avec une figure parfaitement ſphérique.

Soit *ADBE*, *Fig.* 7. une coupe diamétrale de la terre, au moment de la création, composée de parties également peſantes vers le point *C*, & aſſez fluides pour s'arranger en conſéquence de cette peſanteur; il eſt certain que tous les rayons *AC*, *DC*, *FC*, &c. pour être en équilibre, doivent être de même longueur, & que toutes leurs extrémités ſeront rangées dans la circonférence d'un cercle.

Mais ſi l'on conſidère la terre comme ayant un mouvement de rotation

VI. LEÇON.

ſur l'axe *AB*, l'équilibre ne peut plus ſubſiſter entre des rayons égaux : car alors la force centrifuge détruit une partie de la peſanteur, & cette diminution va toujours en augmentant du pôle à l'Equateur. Car le point *D* décrit en 24 heures un grand cercle, le point *F* dans le même tems parcourt un paralléle dont le diamétre eſt beaucoup plus petit, & le point *A* ne tourne point. La colonne *CD* pour être auſſi peſante que *CA*, doit donc augmenter en longueur, & compenſer par plus de matiére ce que ſa force centrifuge diminue de ſa gravité.

Le mouvement de rotation cauſe un ſemblable effet dans les autres paralléles ; mais cet effet va toujours en diminuant juſques aux pôles, par deux raiſons ; 1°. parce que la vîteſſe du mouvement, & par conſéquent la force centrifuge qui en réſulte, diminue dans cette proportion ; 2°. parce que cette force, qui eſt directement contraire à la gravité ſous l'Equateur, ne lui eſt qu'obliquement oppoſée par-tout ailleurs, comme il eſt aiſé de le remarquer dans la figure ; car,

par exemple, à la latitude du point *F*, la peſanteur agit ſelon la direction *FC*, & la force centrifuge a ſa tendance par *FL*.

VI. LEÇON.

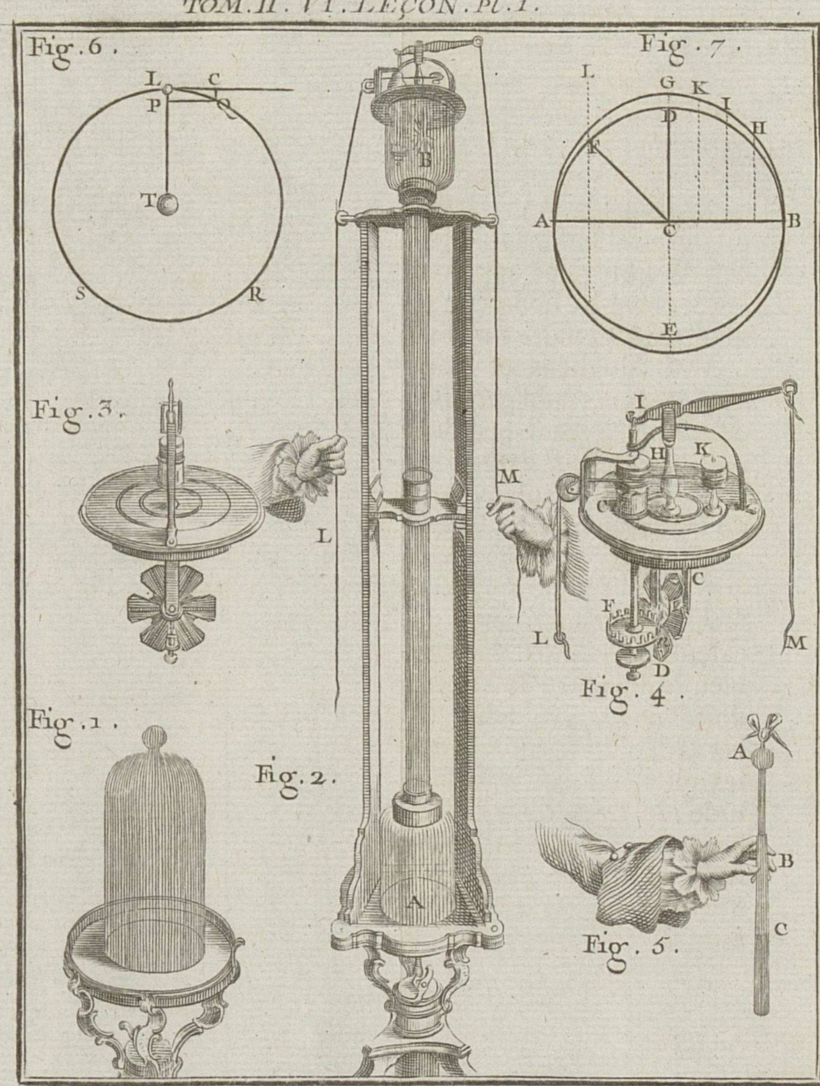
Il ſuit donc de tout ceci, que ſi la terre tourne ſur ſon axe, la peſanteur n'eſt point égale par-tout; la matiére qui compoſe ce globe, pour être en équilibre avec elle-même, doit s'élever de plus en plus depuis les pôles juſqu'à l'Equateur, comme *HIKG*, d'où il réſulte que le diamétre de ſon Equateur eſt plus grand que ſon axe *AB*. Ceci devient ſenſible par l'exemple qui ſuit.

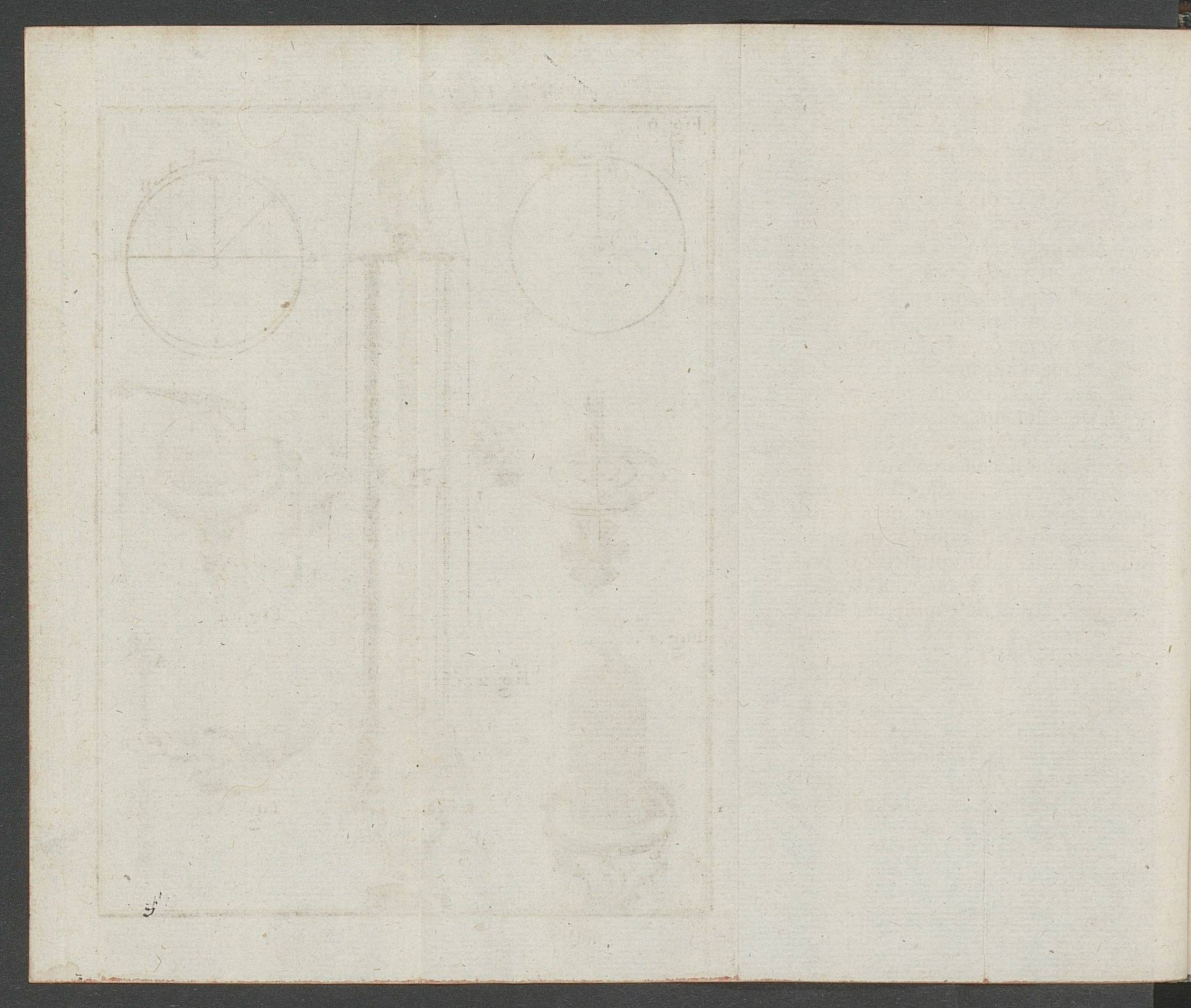
On emplit de paille d'avoine un ſac de cuir de mouton, compoſé de 12 fuſeaux ſemblables aux imprimés dont on couvre les globes qui repréſentent le ciel ou la terre; cette eſpéce de ſphère flexible eſt garnie à ſes deux pôles, de deux morceaux de bois percés qui gliſſent ſur un axe de fer quarré, dont les deux extrêmités ſont arrondies comme deux pivots, & par le moyen d'une poulie fixée à l'une des deux, comme il paroît par la *Fig*. 8. on imprime à ce globe un mouvement de rotation, par le

VI. LEÇON.

moyen de la machine avec laquelle nous avons fait tourner le globe de verre, & que nous avons représentée par la *Fig.* 22. de la Leçon précédente. Ce mouvement lui fait perdre en peu de tems la figure sphérique, pour prendre celle d'un sphéroïde qui paroît sensiblement applatti par les poles, & élévé à l'Equateur, plus qu'une sphéricité parfaite ne l'exige.

MM. Hughens & Newton, sans avoir recours à de pareilles expériences, qui auroient peu de poids dans une matiére qui exige tant de précision, fondés seulement sur les loix de la Statique & des forces centrales, avoient reconnu que la terre devoit être un sphéroïde applati vers les poles; ils avoient même poussé leurs calculs jusqu'à déterminer, de combien le diamétre de l'Equateur excédoit l'axe en longueur. Mais comme cette décision tenoit à des hypothèses qui y laissoient encore de l'incertitude, le travail de ces deux grands hommes n'eut presque pas d'autre succès, que de fixer l'attention des Sçavans sur cette question, & d'en faire sentir l'importance.


Fig. 6.
L
C
P
Q
T
S
R
Fig. 7.
L
G
K
I
D
H
F
A
C
B
E
Fig. 3.
B
L
M
Fig. 2.
A
I
H
K
G
C
F
L
M
D
Fig. 4.
Fig. 1.
A
B
C
Fig. 5.



Quand la théorie nous conduit à quelque découverte physique, il semble qu'il soit réservé à l'expérience d'y mettre le dernier sceau; mais quel moyen de faire des expériences sur la figure de la terre ? Les plus décisives qu'on puisse faire, c'est de la mesurer actuellement en comparant ensemble les arcs d'un de ses méridiens, comme on a fait depuis.

Quoique l'histoire de ce qui s'est passé à ce sujet, soit des plus curieuses & des plus intéressantes, je m'abstiendrai de la rapporter, parce qu'elle n'est point nécessairement liée avec mon objet présent; elle est beaucoup mieux détaillée que je ne pourrois faire ici à cause des bornes que je me suis prescrites, dans plusieurs ouvrages très-récens, & sur-tout dans celui qui a été écrit exprès par M. de Maupertuis, qui a pris fort à coeur le succès de cette belle entreprise; je dirai seulement que les opérations faites au Nord par cet Académicien, & par MM. Clairaut, le Camus, le Monnier, l'Abbé Outhier & Celsius, ont déja confirmé, quoiqu'avec quelques légères différences, la figure que

VI. LEÇON.

MM. Hughens & Newton avoient attribuée à la terre, & que les résultats des mesures prises au Pérou par MM. Bouguer, la Condamine & Godin s'accordent aussi à faire du globe terrestre un ellipsoïde dont l'axe est plus court que le diamétre de son Equateur. *Voyez sur cela l'Ouvrage de M. Bouguer.* (a)

Une autre question qui se présente maintenant, c'est de sçavoir si le poids d'un corps varie selon les différens états qu'il peut prendre ; si le mouvement, le repos, le froid, le chaud, la solidité, la fluidité, &c. peuvent le rendre plus ou moins pesant dans le même lieu ?

On peut répondre en général que le poids ou la pesanteur absolue d'un corps ne varie point, tant que sa quantité de matiére est la même : une livre de plomb pése toujours intrinséquement une livre, soit qu'on la tienne fondue ou solide, plus ou moins chaude, qu'elle se meuve ou non ; car lorsqu'elle a passé par tous ces états,

(*a*) La figure de la Terre déterminée par les observations faites au Pérou, &c. *in*-4. *Chez Jombert*, 1749.

ſi elle n'a rien perdu de ſa quantité de matiére, on y retrouve conſtamment le même poids.

Mais ſi l'on conſidère la peſanteur comme la vîteſſe actuelle avec laquelle le corps grave ſe porte de haut-en-bas, il s'en faut bien qu'elle ſoit la même au commencement ou à la fin de la chûte. Quelle que puiſſe être la cauſe de la gravité, il faut concevoir cette force comme ſi elle étoit placée dans le mobile même, ſur lequel elle agit : à peu près comme le feu qui éléve une fuſée par l'inflammation ſucceſſive des parties qu'elle contient ; de maniére qu'elle agit ſur un corps, pendant qu'il tombe, autant & de même à chaque inſtant, que s'il étoit arrêté ; ainſi, toutes choſes égales d'ailleurs, une balle de plomb qui a cédé à ſa peſanteur pendant l'eſpace d'une ſeconde, a une vîteſſe actuelle plus grande, que celle qui ne ſeroit tombée que pendant une demi-ſeconde. Rendons ceci ſenſible par une expérience.

❧

VI. LEÇON.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB, *Fig.* 9 eſt une caiſſe plus longue que large, ouverte par-deſſus, & dans laquelle gliſſe un tiroir rempli de terre molle. *AD*, & *BC*, ſont deux colonnes cylindriques de 3 pieds & $\frac{1}{2}$ de hauteur, diviſées en pouces, & ſur leſquelles on fait gliſſer une traverſe mobile *EF*, qui s'arrête avec des vis, à telle hauteur que l'on ſouhaite. Au milieu de cette traverſe eſt un trou, dans lequel on retient une boule d'ivoire d'un pouce de diamétre, par le moyen d'une pince à reſſort *G*; la boule *H*, ſemblable à la précédente, eſt ſuſpendue par un fil à la moitié de la diſtance entre la cuvette & la traverſe mobile : & le fil de ſuſpenſion eſt arrêté de maniére que, quand on lâche la boule *G*, l'autre commence à tomber en même tems.

EFFETS.

Les deux boules ayant commencé à tomber en même tems, n'aché-

vent leur chûte que l'une après l'autre, & la boule *H*, qui arrive la premiére ſur la terre molle, y fait un enfoncement, qui eſt beaucoup moindre que celui de la boule G qui arrive après.

Explications.

L'enfoncement que chaque boule fait dans la terre molle, eſt le produit de ſon effort ; cet effet exprime la force actuelle du mobile à la fin de ſa chûte ; cette force ne peut venir que de ſa maſſe & de ſon dégré de vîteſſe : mais les maſſes ſont égales ; ſi les forces ſont différentes, c'eſt donc que la boule *G*, en achevant de tomber, avoit plus de vîteſſe que la boule *H*.

V. EXPERIENCE.

Preparation.

Le tiroir de la machine que nous venons de décrire ci-deſſus, ayant été tiré un peu en avant, afin qu'une nouvelle boule puiſſe tomber ſur un endroit où la terre molle n'ait point été enfoncée ; on arrête la traverſe

VI. LEÇON.

mobile à un pied d'élévation au-dessus de la caisse, pour faire tomber une boule de cuivre qui pése 3 onces; ensuite on éléve la traverse à trois pieds, pour faire tomber sur une nouvelle place, une autre boule de cuivre creuse, de même diamétre que la premiére, & qui ne pése qu'une once.

EFFETS.

En comparant les deux enfoncemens, on les trouve parfaitement égaux.

EXPLICATIONS.

Ce que l'expérience précédente n'a fait qu'indiquer en général, celle-ci le démontre avec plus de précision; car non-seulement elle fait connoître que la vîtesse des corps qui tombent librement, s'augmente par une chûte plus longue, mais elle nous donne la mesure de cet accroissement, en faisant connoître qu'il est proportionnel à la hauteur: c'est ce qui devient évident, quand on fait attention qu'une once de masse a produit le même effet que 3 onces, parce

que

que la hauteur de ſa chûte a été 3 fois plus grande.

APPLICATIONS.

Il n'y a pas de payſan qui ne ſçache, que la chûte d'une pierre eſt d'autant plus à craindre qu'elle vient de plus haut, & que les corps fragiles courent plus de riſque de ſe rompre en pareil cas. Ces faits ſont trop connus pour mériter qu'on s'y arrête. Nous remarquerons ſeulement, que comme dans notre expérience une plus grande maſſe, venant d'une moindre hauteur, a produit le même effort qu'une moindre maſſe qui venoit de plus haut ; on peut choiſir entre ces deux moyens, lorſqu'il s'agit d'emprunter la puiſſance d'un mobile qui doit agir par ſa chûte : car il eſt ſouvent avantageux de pouvoir ſubſtituer du poids à une grande élévation.

Il n'eſt pas douteux, par exemple, que des marteaux employés à force de bras avec une vîteſſe ſuffiſante, ne vinſſent à bout d'enfoncer des pilotis, de forger des ancres, de battre le fer des mines dans les forges où on les prépare en grand, &c. mais il en

VI. LEÇON.

coûte bien moins de dépenſe en faiſant tomber d'une hauteur médiocre des maſſes très-peſantes, dont le mouvement eſt animé & réglé le plus ſouvent par la force de l'eau, ou par celle du vent.

Nous venons de voir en général que la chûte des corps s'accélère dans tous les inſtants : voyons maintenant par des expériences quelle eſt la progreſſion de cet accroiſſement de vîteſſe.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB & *CD*, *Fig.* 10. ſont deux cordes de métal ou de boyaux, d'environ 28 pieds de longueur, fortement & parallélement tendues à quelques pouces de diſtance l'une de l'autre, & faiſant avec l'horizon un angle d'environ 18 dégrés ; *G* eſt un mobile qui gliſſe fort librement par le moyen de deux petits rouleaux ſur la corde *AB*, & ſon centre de peſanteur eſt plus bas que la corde, afin que la pointe qui eſt à ſa partie ſupérieure garde toujours la même

ſituation ; *H* eſt un pendule un peu peſant qui ſe meut ſur deux pivots *A*, *a*, & dont la verge excéde un peu vers *f*. La longueur du pendule doit être telle qu'il faſſe juſtement une vibration, pendant que le mobile G parcourt la neuviéme partie de la corde *AB* ; pour s'en aſſûrer, il faut avoir une petite régle de bois, qui ſerve à meſurer la corde en neuf parties égales ; & placer vis-à-vis la premiére de ces parties, & ſur la corde *CD* un petit timbre *K*, dont le portant gliſſe & s'arrête avec une vis, à telle diſtance que l'on veut. Il doit auſſi avoir un petit marteau, que le mobile G détende en paſſant. D'une autre part le pendule *H* fait ſonner de même un autre timbre *I* dont le ton eſt différent ; & la queue de la verge qui excéde en *f*, fait lâcher en paſſant un petit fil de ſoie qui retient le mobile G ; de ſorte que quand tout eſt bien ajuſté, le mobile G ne part que quand le pendule fait ſonner ſon timbre *I* pour la premiére fois ; & l'autre timbre *K* ne ſonne ſon premier coup, que quand le pendule fait entendre le ſecond coup du ſien : ainſi entre le

VI. LEÇON.

VI. LEÇON.

premier & le ſecond coup du timbre, il s'écoule un tems dont on a la meſure, & pareillement pendant ce tems le mobile parcourt un eſpace connu. On recule enſuite le timbre *K* juſqu'à ce que l'eſpace parcouru par le mobile *G* ſoit fixé par le deuxiéme tems : c'eſt-à-dire, juſqu'à ce que le troiſiéme coup du timbre *I* s'accorde avec celui du timbre *K* que l'on a reculé, & ainſi de ſuite. Et en meſurant les eſpaces parcourus, on les compare avec les tems.

EFFETS.

Pendant la premiére vibration du pendule, le mobile *G* parcourt la neuviéme partie de la corde ; s'il continue de ſe mouvoir de ſuite pendant le ſecond tems, il parcourt trois fois autant d'eſpace, & dans le troiſiéme, cinq fois, de ſorte que ſa vîteſſe eſt accélérée, puiſque dans des tems égaux il meſure des eſpaces qui vont en augmentant, & le progrès de cette accélération ſuit les nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9, &c. ce qui fait dire que les eſpaces parcourus, à commencer du premier inſtant de la chû-

te, répondent au quarré des tems : car à la fin du ſecond tems on trouve pour le nombre des eſpaces, 4 qui eſt le quarré de 2 ; & à la fin du troiſiéme, 9 qui eſt le quarré de 3.

EXPLICATIONS.

Si la peſanteur étoit une force externe une fois imprimée extérieurement, c'eſt-à-dire, que ſon action ſur le mobile qu'elle anime, fût ſemblable à un coup de marteau qui produit dans le premier choc tout ce qu'il peut faire ; la vîteſſe du corps grave ſeroit toujours égale & uniforme (abſtraction faite des obſtacles étrangers.) Car pourquoi changeroit-elle, ſi rien ne la diminuoit, & ſi la puiſſance qui l'a fait naître, ne continuoit d'agir ? Mais la peſanteur, comme nous l'avons déja dit, eſt une force qui ſuit le mobile, & qui répéte ſur lui ſes impulſions à chaque inſtant. La vîteſſe d'un corps qui tombe, n'eſt donc pas ſeulement celle qu'il avoit en commençant à deſcendre, mais la ſomme de celles qu'il a acquiſes, pendant tout le tems de ſa chûte.

Quand le mobile G de notre expé-

VI. LEÇON,

rience parcourt l'eſpace *A* 1, c'eſt la peſanteur qui le fait deſcendre ; par conſéquent ſi l'on ſubdiviſe le tems qu'il emploie pour faire ce chemin, on doit concevoir qu'à chaque inſtant il a reçu une nouvelle vîteſſe, & que quand il eſt arrivé au chifre 1, ſa vîteſſe actuelle eſt plus grande que lorſqu'il eſt parti du point *A*.

Pour ſçavoir préciſément ce que vaut cette augmentation, ſuppoſons que la ligne *A B*, *Figure* 11. repréſente ce premier tems diviſé en 6 inſtans égaux ; & exprimons les petits eſpaces parcourus pendant ces inſtans, par autant de lignes perpendiculaires à *A B*. Si dans le premier inſtant, la peſanteur fait parcourir au mobile un eſpace égal à *c c*, celui qu'il parcourra pendant l'inſtant ſuivant *dd*, ſera double, parce que l'impulſion du ſecond inſtant, ſe joignant à celle du premier qui ſubſiſte toujours, doublera la vîteſſe, & ainſi de ſuite : l'inſpection ſeule de la figure ſuffit, pour faire comprendre, que les vîteſſes acquiſes ſont comme le nombre des inſtans.

Imaginons maintenant qu'au com-

mencement du second tems exprimé par *B C* égale à *AB*, la pesanteur cesse d'agir sur le mobile, il continuera de descendre sans accélération, en parcourant autant d'espaces semblables à *B D* qu'il y a dans *B C* de parties égales à celles du premier tems *AB*. Mais la somme de ces lignes est double de celles du premier tems, comme il est facile de le voir en partageant le quarré *BDCE* en deux triangles; il est donc démontré, que le mobile, en vertu des vîtesses acquises pendant le premier tems, est en état de parcourir un espace double de celui qu'il a parcouru. Ainsi quand le mobile G de notre expérience est parvenu à la fin du premier espace, quand bien même il n'acquerroit plus de nouvelles vîtesses, pendant la seconde vibration du pendule, il s'avanceroit jusqu'au chiffre 3.

Mais si la pesanteur continue d'agir, elle doit produire pendant le second tems autant d'effet que pendant le premier. Si l'on ajoute donc sur le côté *D E* qui représenté un tems égal à *AB*, des lignes dont le nombre &

la longueur ſoient ſemblables aux premiéres *c c*, *d d*, &c. on aura, pour les eſpaces parcourus dans le ſecond tems, les trois triangles *BCD*, *CDE*, & *DEF*, dont la ſomme égale trois fois *A B D*.

De même quand le mobile G part du point 1, il eſt en état de parcourir dans le ſecond tems deux eſpaces, en vertu des vîteſſes acquiſes pendant le premier tems, & un troiſiéme, en conſéquence de la nouvelle impulſion qu'il reçoit à chaque tems, & de cette maniére il parvient au chiffre 4.

La même choſe ſe paſſe pour tous les autres tems; & pour peu qu'on y faſſe attention, on voit que le quatriéme, neuviéme, ſeiziéme eſpaces parcourus, répondent au deuxiéme, troiſiéme, quatriéme tems, & que les quantités qui appartiennent à chaque tems, priſes ſéparément, ſont entr'elles comme les chiffres 1, 3, 5, 7, &c.

Il ſuit de-là qu'un corps qui eſt tombé d'une certaine hauteur, ſe trouve avoir à la fin de ſa chûte, un dégré de vîteſſe, tel qu'il lui faudroit

pour

pour remonter aussi haut, si quelque cause changeoit sa direction. Et s'il remonte en effet avec sa vîtesse acquise, son mouvement est retardé en montant, comme il a été accéléré en descendant.

VI. LEÇON.

Car supposons, par exemple, que le corps *A*, *Fig.* 12. soit arrivé en *B* par une vîtesse accélérée, c'est-à-dire, en parcourant dans le premier tems l'espace 1, & dans le second, l'espace 2, trois fois plus grand; s'il remontoit en vertu de la vîtesse actuelle qu'il a, & que la pesanteur cessât d'agir sur lui, il remonteroit dans le premier tems de *B* en *A*.

Mais si la pesanteur vient à retarder ce mouvement, elle agira sur le mobile qui monte, comme sur celui qui descend; elle lui donnera de haut en-bas, une tendance capable de le faire descendre de la quatriéme partie de *A B*. Ainsi au lieu de remonter jusqu'en *A*, il n'arrivera que en *C*; & dans le tems suivant, la même tendance qu'elle continue de lui donner, étant trois fois plus grande, il ne fera, en montant, que la troisiéme partie de ce qu'il a fait dans le premier

tems ; il arrivera donc en *A* en deux tems : & les eſpaces qu'il parcourra ſeront 3 & 1. D'où l'on voit que la vîteſſe d'un corps qui remonte, eſt retardée par la peſanteur ſelon la progreſſion des nombres impairs 1, 3, 5, 7, &c.

Applications.

Ce que nous venons d'enſeigner par l'expérience précédente, touchant l'accélération des corps graves, & touchant les loix de cette accélération, ſe trouve exactement vrai dans la ſpéculation : dans la pratique même, les différences ne ſont point ſenſibles, quand on n'examine que des chûtes peu conſidérables, telles que celles que nous avons employées. Mais ſi l'on applique cette théorie aux effets naturels, lorſqu'il s'agit de grandes hauteurs, elle n'a pas lieu dans toute ſon étendue à cauſe de la réſiſtance des milieux ou des autres obſtacles qui peuvent retarder la vîteſſe des corps qui tombent. Nous en avons déja donné des preuves par la ſeconde expérience, & nous en avons cité

d'autres qui ont été faites en grand, tant en Italie qu'en France & en Angleterre. En 4 secondes $\frac{1}{4}$ (*a*) une boule de plomb tombe de la hauteur de 272 pieds; * selon la loi de l'accélération que nous venons d'établir, en comptant 16 pieds (*b*) de chûte pour la premiére seconde, & sans avoir égard à aucune résistance étrangère, ce mobile devroit en parcourir 289; c'est donc 17 pieds que la résistance de l'air retranche en pareil cas, du produit de son accélération.

VI. LEÇON.

* *Transact. Philosoph. n. 562. art. 4.*

Cette diminution seroit encore plus considérable, si la boule, au lieu d'être de plomb, étoit de bois, ou de quelque matiére encore plus légère.

(*a*) Dans le texte des Transactions on lit 4 secondes $\frac{1}{2}$: j'en ôte $\frac{1}{4}$ de seconde, parce que l'on comptoit l'instant de la chûte par le coup que l'on entendoit d'un lieu élevé de 272 pieds, & nous ferons voir ailleurs que le bruit ou le son emploie environ un $\frac{1}{4}$ de seconde pour faire ce trajet.

(*b*) J'ai dit ci-dessus qu'un corps grave tombe d'environ 15 pieds pendant la premiére seconde de sa chûte libre : mais l'expérience dont il s'agit ici, ayant été faite à Londres, on doit compter sur 16 pieds; parce que 15 pieds de France équivalent à peu-près à 16 pieds d'Angleterre.

VI. LEÇON.

Car nous avons déja fait voir que la résistance du milieu retarde d'autant plus le mouvement des corps, qu'ils ont plus de volume & moins de masse, & l'on voit aussi par les expériences de M. Desaguilliers que nous avons déja citées, qu'une boule de carton de 5 pouces de diamétre employa 6 secondes $\frac{1}{2}$ pour tomber d'aussi haut que la boule de plomb : au lieu qu'une chûte de cette durée auroit dû produire 676 pieds, c'est-à-dire, 404 de plus qu'elle n'a fait.

La chûte des corps ne diffère des autres mouvemens que par sa direction ; la résistance des milieux s'y fait donc appercevoir de même ; c'est-à-dire, qu'il faut avoir égard non-seulement au volume du mobile relativement à son poids, mais encore à son dégré de vîtesse, & à la densité du fluide dans lequel il fait sa chûte. Car il faut plus de force ou de tems pour déplacer de l'eau, que de l'air en pareille quantité. Il arrive de-là que quand un corps a acquis par son accélération un certain dégré de vîtesse qui le met en équilibre avec la résistance actuelle du milieu, il con-

tinue de s'y mouvoir uniformément. VI. LEÇON.

Les corps qui tombent arrivent plutôt ou plus tard à ce mouvement uniforme, ſelon la denſité des milieux qu'ils traverſent, ou ſelon qu'ils ont plus ou moins de volume avec la même maſſe. C'eſt pourquoi ſi l'on jette par une fenêtre des corps de différens poids, comme des fragmens de papier, de bois, de pierre, on peut remarquer que les premiers, après avoir accéléré dans l'eſpace de 12 ou 15 pieds, tombent enſuite d'un mouvement ſenſiblement égal; la grêle tombe plus vîte que la pluie, & la pluie plus vîte que la neige par la même raiſon. Sans ces retardemens l'eau du Ciel qui fertiliſe la terre, & dont la nature diſpoſe ſelon nos beſoins, déſoleroit continuellement nos campagnes & nos habitations; & la plus petite grêle, par l'extrême vîteſſe de ſa chûte, ſeroit un fardeau à craindre pour nos têtes.

Ce que la réſiſtance des milieux retranche de l'accélération de la peſanteur dans les corps qui deſcendent, elle l'ajoute à ſon retardement dans les corps qui ſe meuvent de bas

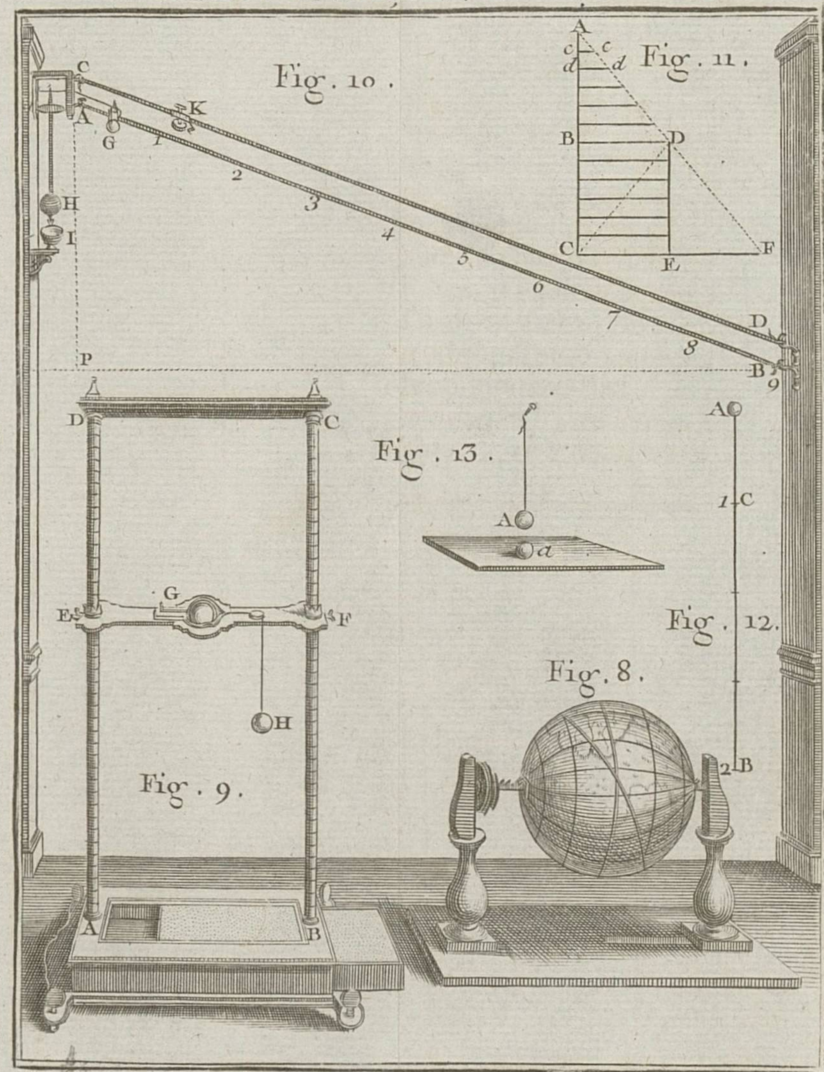
VI. LEÇON.

en haut. Ainſi le corps *B*, *Fig.* 12. qui, en vertu de ſa vîteſſe acquiſe, pourroit remonter juſqu'au point *A* d'où il eſt deſcendu, s'arrêtera plus bas à cauſe du milieu qui lui réſiſte, & qui détruit une partie de ſon mouvement. Quand on laiſſe tomber une balle d'ivoire ſur un marbre, ces deux corps fuſſent-ils d'une élaſticité parfaite, il ne faudroit pas s'attendre que la balle remontât juſqu'au lieu de ſon départ ; l'expérience eſt tout-à-fait d'accord avec cette théorie.

II. SECTION.

Des Phénoménes où le mouvement eſt composé de la peſanteur & de quelque autre puiſſance.

SI l'on ſe rappelle ci ce que nous avons dit du mouvement composé, on n'aura plus que des applications à faire des principes généraux que nous avons établis ; car la peſanteur eſt une puiſſance dont la direction & l'intenſité ſont connues par ce que nous ve-


Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 13.
Fig. 12.
Fig. 8.
Fig. 9.

nons d'enſeigner. Si l'on connoît les autres forces qui contribuent avec elle au mouvement d'un corps, les différens effets qui peuvent en réſulter, ſeront toujours conformes aux loix du mouvement composé, que nous avons établies dans la Leçon précédente. Parcourons les cas les plus généraux & les plus intéreſſans.

Quand un corps n'obéït pas pleinement à ſa peſanteur, tant pour la direction que pour l'intenſité, c'eſt qu'il eſt retenu par quelque obſtacle, ou ſollicité par quelque force qui agit directement ou indirectement contre cette premiére puiſſance.

Si l'obſtacle eſt directement opposé à la peſanteur, & qu'il ſoit invincible, comme le fil qui ſuſpend la boule *A*, *Fig.* 13. ou bien le plan horizontal qui l'empêche de paſſer outre; c'eſt un mobile qui ſe trouve entre deux puiſſances égales opposées dans la même ligne, ſçavoir, l'action de ſa gravité, & la réaction du point fixe auquel il eſt ſuſpendu, ou du plan ſur lequel il repoſe; & nous avons dit qu'en pareil cas, le mobile

reſte en repos. Ou bien ſi l'obſtacle peut céder à la peſanteur, c'eſt le cas de deux forces dont l'une obéit ſuivant l'avantage que l'autre a ſur elle ; le mouvement demeure ſimple, mais ſeulement retardé, comme il arrive, quand les corps graves tombent par des milieux réſiſtans.

Les corps graves à qui les obſtacles ne cédent qu'inſenſiblement comme le poids d'une horloge, d'un tournebroche, &c. ne laiſſent appercevoir aucune accélération dans leur chûte, parce que dans ces ſortes de machines le mouvement eſt modéré par des moyens qui à chaque inſtant raménent le mobile à ſa vîteſſe initiale, c'eſt-à-dire, à ce dégré de vîteſſe infiniment petit, avec lequel il commenceroit à tomber, s'il étoit libre.

Pour concevoir comment un corps peut tomber long-tems, & de ſuite, ſans accélérer ſon mouvement, qu'on ſe repréſente une boule qui tombe par un eſcalier dont les marches ſont un peu larges, & de maniére qu'en tombant de la premiére ſur la ſeconde, elle n'acquiert que la vîteſſe néceſſaire pour gagner le bord en roulant,

& pour tomber ſur la troiſiéme, & ainſi des autres; il eſt évident qu'à la centiéme marche ſa chûte ſera ſemblable à celle qu'elle a faite à la premiére, parce que, comme on le ſuppoſe, chaque fois qu'elle a roulé horizontalement, elle a perdu la vîteſſe qu'elle avoit acquiſe par la chûte précédente. Il arrive à peu-près la même choſe, quoique moins ſenſiblement, au poids d'une pendule, quand une dent du rochet échappe aux palétes, la fuſée tourne un peu, la corde file d'autant, & le poids fait une petite chûte que les yeux n'apperçoivent pas, à cauſe de ſon peu de durée, mais qui eſt pourtant plus prompte à la fin qu'au commencement; la réſiſtance qu'éprouve la dent ſuivante, juſqu'à ce qu'elle échappe, conſume bien-tôt cette petite augmentation de vîteſſe, & la ſeconde chûte ſe fait comme la premiére, c'eſt-à-dire, comme ſi le mobile partoit du repos.

VI. LEÇON.

Si quelque choſe oblige un corps grave à deſcendre par une ligne oblique à l'horizon, ou c'eſt un obſtacle dont la réaction ſe proportionne aux

VI. LEÇON.

efforts de la pesanteur, comme un plan incliné, ou un fil qui tient le mobile suspendu ; ou bien c'est une force active qui a sa mesure déterminée, comme l'effort du bras qui jette une pierre, ou celui de la poudre enflammée qui fait partir une balle de mousquet. Examinons en détail ces deux cas dans les Articles suivans.

ARTICLE PREMIER.

De la chûte des Corps par des plans inclinés.

LE plan incliné dont il est ici question, est celui qui n'est ni vertical comme *a p*, *Fig.* 14. ni horizontal comme *p C*, mais qui comme la ligne *a C*, forme un triangle avec les deux premiéres lignes.

Le plan incliné l'est d'autant moins qu'il s'éleve davantage au-dessus du plan horizontal ; ou, ce qui revient au même, que la ligne *a p* est plus longue par rapport à *p C*. Ainsi le plan *a C*, est plus incliné que *a D*.

Quand un mobile descend par un plan incliné, c'est la même chose qu'il soit soutenu par un plan solide dont

l'inclinaiſon ſoit conſtante, ou qu'il ſoit toujours proportionnellement tiré par une puiſſance dont la direction faſſe à tous les inſtans un angle ſemblable avec celle de la peſanteur, comme *F A*, ou *f a*.

Un corps grave qui eſt obligé de deſcendre ainſi par une ligne oblique à l'horizon, doit être conſidéré comme obéiſſant à deux forces dont les directions ſont différentes, & ſon mouvement doit ſe compoſer ſelon les loix que nous avons établies dans la Leçon précédente : les effets que nous avons à examiner ici, n'en ſont que des applications & des exemples.

Suppoſons donc que *A P* repréſente la peſanteur, c'eſt-à-dire, l'eſpace que parcourroit le mobile *A* dans le premier tems de ſa chûte, s'il tomboit librement ; & que *A F* ſoit une autre puiſſance qui le tire en avant & obliquement : en formant ſur ces deux premiers côtés le parallélogramme *P A F a*, comme nous l'avons enſeigné, la petite diagonale *A a* donnera & la direction & la quantité du mouvement compoſé. Ainſi l'on voit qu'à la fin du premier tems

le mobile ſera en *a*, c'eſt-à-dire, beaucoup moins bas qu'il ne ſeroit, s'il n'avoit ſuivi que l'impulſion de ſa peſanteur.

Si l'on veut ſçavoir quel ſera le produit du ſecond tems, il faut repréſenter les deux puiſſances par des lignes trois fois plus longues; car la peſanteur qui auroit fait tomber le mobile par *A P* dans le premier tems, lui auroit fait parcourir *a p* trois fois plus long dans un pareil tems pris de ſuite.

Cette augmentation de puiſſances, ſi leurs directions ne changent point de rapport, donnera pour le ſecond tems la diagonale *a b*, trois fois plus longue que *A a*, & dans le même alignement: & ſi l'on continue la même opération, on aura enfin par la ſuite de ces diagonales le plan incliné *A C*.

Si l'on change la direction de la puiſſance qui fait obſtacle à la peſanteur, & qu'elle devienne comme *c a* ou *d a*, le parallélogramme change, & par conſéquent la diagonale qui exprime le mouvement composé. Le mobile, au lieu de deſcendre par

a b, tombera par *a g* ou *a h*, de ſorte que ſi ce changement de direction alloit juſqu'à faire agir l'obſtacle perpendiculairement au penchant de la peſanteur comme *e a*, alors la chûte du mobile ne ſeroit nullement retardée, au lieu qu'elle le ſeroit totalement ſi la réſiſtance ſe faiſoit dans un ſens directement contraire comme *i a*, ce qui n'a pas beſoin d'être expliqué.

De ces principes il ſuit, 1°. qu'un corps ne tombe jamais auſſi vîte par un plan incliné, que par la ligne verticale, qui eſt ſa direction naturelle. Car au lieu de parcourir *A P* dans le premier tems, on voit qu'il ne deſcend que de la quantité *A k*; & aucun des points *b g h* n'eſt auſſi bas que *p*.

2°. Que plus le plan eſt incliné à l'horizon; plus la chûte eſt retardée: car en deſcendant par le plan *a C*, le mobile ne parcourt que la ligne *a b*, dans le tems qu'il parcourroit la ligne *a g*, s'il deſcendoit par le plan *a D* moins incliné; & ſi le plan étoit tout-à-fait horizontal, c'eſt-à dire, directement oppoſé à la peſanteur, la

VI. LEÇON.

chûte du mobile ſeroit abſolument nulle.

3°. Que la peſanteur, quoique retardée, accélère la chûte des corps ſuivant les mêmes loix & les mêmes proportions, que la peſanteur qui agit ſeule & avec liberté. Car on voit que la ligne *a b*, produit du ſecond tems, eſt trois fois plus grande que *A a*, produit du premier. Cette différence eſt ſemblable à celle des lignes *A p* & *a p* qui expriment des chûtes libres.

4°. Que l'on peut comparer la vîteſſe d'un mobile qui deſcend par un plan incliné, avec celle du même corps, qui tomberoit librement par la ligne verticale, ou les dégrés de vîteſſe de deux corps qui parcourent des plans différemment inclinés, puiſqu'on ſçait la quantité de la chûte pour chaque inſtant pris de ſuite, comme *A a*, *a b*, ſur un plan dont on connoît l'inclinaiſon, & la différence de ces quantités ſur différens plans, comme *a b*, *a g*, en tems égaux. Ainſi en prenant pour terme de comparaiſon le tems que le mobile mettroit à tomber perpendiculairement de la hau-

teur du plan *a p*, on trouve que la durée de ſa chûte par le plan incliné, eſt plus longue de la même quantité dont le plan *a C* ou *a D*, excéde en longueur la ligne *a p*. Rendons ceci ſenſible par une expérience.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut diſpoſer les cordes de la *Figure* 10. de maniére qu'elles forment un plan incliné *A B* qui ait deux fois autant de longueur que de hauteur, & ajuſter le pendule de maniére qu'il faſſe une vibration pendant qu'une balle d'ivoire tombe de la hauteur *A P*. Si le mobile *G* part en même tems que cette balle.

EFFETS.

Il n'arrivera au bout du plan incliné qu'à la fin du ſecond tems ; c'eſt-à-dire, que la durée de ſa chûte eſt à celle de la balle d'ivoire, comme la longueur du plan incliné qu'il parcourt, eſt à ſa hauteur (*a*).

(*a*) Comme les cordes, quelque tendues qu'elles ſoient, ne forment point des plans d'une in-

VI. LEÇON.

Si l'on conçoit *a p*, *Fig.* 14. hauteur du plan incliné comme le diamétre d'un cercle, & que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chûte perpendiculaire dans un tems donné, la demi-circonférence de ce cercle passera par l'extrémité de toutes les chûtes obliques *b*, *g h*; cette méthode une fois connue, est plus simple pour sçavoir tout d'un coup le rapport de la chûte oblique *ML*, *MN*, &c. *Fig.* 15. avec la chûte perpendiculaire *MP*. C'est une abbréviation de la régle que nous avons donnée d'abord, & elle suffit, quand on connoît l'inclinaison du plan.

Il suit de-là cette proposition générale : *Qu'un corps emploie pour descendre obliquement par la corde quelconque d'un cercle, autant de tems qu'il lui en faudroit pour tomber par le diamétre entier de ce même cercle posé verticalement.*

Cela est démontré pour les cordes qui partent du point *M*, *Fig.* 15. par

clinaison constante, sous un corps grave qui les parcourt, à cause de leur flexibilité, on ne doit pas s'attendre que cette expérience soit exacte à la rigueur.

ce qui a été dit touchant *ab*, *ag*, *Fig.* 14. &c. & la même preuve vaut pour *OP*, *QP*, & ſemblables, puiſqu'étant paralléles à *ML*, *MN*, &c. elles leur ſont égales en longueur & en inclinaiſon : une expérience rendra cette démonſtration plus facile à ſaiſir.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui eſt repréſentée par la *Figure* 16. eſt un grand cercle, dont le diamétre qui a environ 3 pieds $\frac{1}{2}$, eſt terminé par deux trous qui reçoivent ſucceſſivement une alidade *BC* creuſée en forme de gouttiére, & qui tournant ſur le point *A* & ſur le point *B* alternativement, peut meſurer toutes les cordes du cercle. Il faut avoir deux balles de cuivre ou de plomb qui aient environ 6 lignes de diamétre, dont l'une ſe place en *A*, ſous une petite pince à reſſort *D*, qui ne le laiſſe tomber que quand on tire le fil de la détente. Quand on veut diſpoſer l'autre balle, pour deſcendre par une corde qui tende au point *B*,

VI. LEÇON.

on y place le centre de l'alidade, &c. l'on met la balle ſous une pince ſemblable à la premiére, retenue par une bride qui gliſſe, & qui s'arrête où l'on veut par le moyen d'une vis *E*. Cette même bride porte par derriére une eſpéce de cocq qui embraſſe la circonférence du grand cercle, & qui ſert à fixer l'alidade à tel dégré d'inclinaiſon que l'on ſouhaite. Lorſqu'on veut faire deſcendre la ſeconde balle par une corde venant du point *A*, il faut y placer l'alidade, & une balle dans la gouttiére préciſément au centre du mouvement, de maniére qu'on l'apperçoive par le trou *A*. On met dans cet œil un petit cylindre de bois qui s'y meut avec liberté, & ſur lequel on poſe l'autre balle que l'on retient avec la pince à reſſort, & alors la même preſſion fixe les deux balles à cauſe de l'interpoſition du petit cylindre. Un curſeur qui gliſſe ſur l'alidade, termine la gouttiére à l'endroit où finit la corde que l'on meſure.

Effets.

L'alidade étant placée comme *B C*,

dès qu'on tire le fil qui tient aux deux détentes, les deux balles tombent en même tems, & se rencontrent en *B*; & cet effet ne varie point, quoique la corde du cercle devienne plus longue ou plus courte, par le changement d'inclinaison de l'alidade; de même si l'alidade est placée en *A*, les deux balles arrivent en même tems l'une en *B*, l'autre en *F*, à quelque distance que *F* soit du point *A* dans la circonférence du cercle, ce qui s'apperçoit, parce que la balle qui frappe l'obstacle qui est dans la goutiére, & celle qui touche le point *B*, ne font entendre qu'un même coup.

EXPLICATIONS.

Ce que nous avons dit ci-dessus, nous dispenseroit d'expliquer cette expérience, si l'on s'est donné la peine de suivre les démonstrations; mais si l'on se contente de sçavoir en général, pourquoi en pareil cas un mobile met autant de tems à faire un court chemin qu'un plus long (ce qui semble un paradoxe,) il faut faire attention qu'un corps grave en tombant,

VI. LEÇON.

ne fait jamais plus de chemin que quand il descend perpendiculairement à l'horizon ; qu'il n'en fait au contraire jamais moins que lorsqu'il est sur un plan presqu'horizontal ; puisque si l'alidade étoit disposée comme *B e*, ou *A f*, la balle ne descendroit point du tout : & qu'ainsi les lignes décrites par sa chûte dans un tems fixe, doivent être d'autant plus courtes qu'elles sont plus inclinées à l'horizon, ou (ce qui est la même chose,) qu'elles s'écartent plus de la direction verticale.

APPLICATIONS.

Puisque le plan incliné est toujours plus long que le plan vertical à hauteur égale, il est aisé de voir qu'un escalier, une rampe douce, une échelle dressée obliquement, ne mènent point à une certaine élévation, par la route la plus courte. Cependant tous les jours on choisit ces moyens par préférence à ceux qui pourroient faire gagner du tems. Quand il s'agit, par exemple, d'arriver en voiture à quelque endroit fort élevé, ou de faire monter de grands

fardeaux, comme des tonneaux de vin qu'on tire d'une cave, ou des blocs de marbre que l'on méne du bateau sur le port, &c. c'est presque toujours par des plans inclinés, qui exigent plus de tems qu'une ascension plus directe. Il y a donc une raison qui détermine à employer plus de tems ou à faire plus de chemin; car naturellement les moyens les plus prompts sont ceux que l'on aime le mieux. Oui sans doute; si le plan incliné retarde la vîtesse des corps qui descendent, il faut moins d'effort pour arrêter leur chûte; & quand ils sont ainsi soutenus, leur poids est toujours plus facile à vaincre, soit qu'on veuille les tenir en repos, soit qu'on se propose de les transporter de bas en haut. Quand on choisit de pareils plans pour élever les corps, ou pour rallentir leur chûte, le tems qu'on emploie de plus, est donc moins une perte, qu'un échange de la vîtesse en force; la liberté de choisir entre l'une & l'autre est d'un grand avantage dans les méchaniques. Nous pourrions examiner ici quel rapport il y a entre la vîtesse que

VI. LEÇON.

l'on perd, & la quantité de force qu'on est dispensé d'employer sur un mobile, quand on le fait descendre ou monter par un plan incliné; mais c'est une question qui trouvera naturellement sa place, lorsque nous traiterons des machines qui servent à employer le mouvement.

Si la vîtesse actuelle d'un corps qui descend par un plan incliné, est toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement, il est vrai de dire qu'à chaque point de sa chûte oblique, la vîtesse acquise est égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable: toute la différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de tems pour acquérir cette vîtesse par un mouvement oblique, que par un mouvement direct à l'horizon.

Quand le mobile *A*, *Fig.* 17. est en *a*, il a donc la même vîtesse qu'il auroit, s'il étoit tombé directement d'*A* en *a*, ou d'*M* en 1; quand il est en *b*, comme s'il venoit de *B*, par une ligne qui est égale à *M* 2; & à la fin de la chûte par *Aa*, *ab*, *b* 3,

la ſomme de ces vîteſſes acquiſes eſt égale à celle que lui auroit procurée une chûte verticale par *M* 3, ce qui vient de ce que la hauteur verticale de cette derniére chûte eſt égale à celle des trois premiéres priſes enſemble, & que l'accélération par le plan incliné eſt proportionnelle à celle d'une chûte verticale & libre.

Or nous avons dit que la chûte accélérée donne au mobile une force capable de le faire remonter auſſi haut que le lieu d'où il eſt deſcendu: & comme cette accélération ſuit les mêmes loix dans la chûte oblique, comme dans la chûte perpendiculaire à l'horizon, cette propoſition que nous n'avons fait qu'énoncer, ſera prouvée, ſi nous faiſons voir, par des expériences, qu'un corps remonte autant qu'il a deſcendu, dans quelque direction que ſe faſſent ſa chûte & ſon aſcenſion. Mais afin de tout prouver en même tems, il faut dire un mot de la deſcente des corps graves par les courbes.

Nous avons déja dit ailleurs qu'une ligne courbe doit être conſidérée comme un aſſemblage de petites li-

VI. LEÇON.

gnes droites contiguës, & inclinées les unes aux autres ; on peut donc regarder aussi le mobile qui descend, ou qui remonte par une courbe, comme parcourant plusieurs petits plans inclinés entre eux ; & en appliquant successivement à toutes ces parties diversement inclinées, tout ce que nous avons dit d'un seul plan dont l'inclinaison seroit uniforme, il sera aisé d'appercevoir la cause des variations que les différentes courbures font naître, dans le mouvement des corps graves, soit de haut en bas, soit de bas en haut.

Pour bien entendre ceci, supposez que le quart de cercle *AED*, *Fig.* 18. soit composé de 4 lignes droites : le mobile en les parcourant sera soutenu sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera plus du terme de sa chûte *D*, & il est évident, après tout ce que nous avons dit ci-dessus, que si l'effet de la pesanteur étoit uniforme, il mettroit beaucoup moins de tems à parcourir la partie *A B*, que *E C*, ou *C D*, parce que cette premiére ligne s'écarte bien moins que les autres de la direction

verticale. Mais à cause de l'accélération, si le mobile se trouve de *C* en *E*, sur un plan plus incliné, il a aussi plus de vîtesses acquises; & comme cette vîtesse actuelle du mobile au point *C*, dépend des vîtesses particuliéres que l'inclinaison des autres parties lui a permis de prendre, il y a telle courbe où ces premieres parties plus approchantes de la direction verticale, rendent le commencement de la chûte plus prompt, & la chûte entiére d'une moindre durée: telle est, par exemple, la ligne *EGH*, *Fig*. 19. que l'on nomme *cycloïde*, courbe fameuse en Géométrie par le grand nombre & l'importance de ses propriétés, & en méchanique par l'usage que M. Hughens en fit, lorsqu'il appliqua les vibrations du pendule aux horloges.

VI. LEÇON.

Un mobile ne tombe donc pas aussi vîte par un arc de cercle, que par un arc de cycloïde de même hauteur, *Fig*. 19. parce que le commencement de la courbure dans la premiére de ces deux lignes, s'écarte davantage de la direction verticale que dans l'autre: & que les retardemens causés sur

VI. LEÇON.

la fin par l'inclinaiſon du plan, ne ſont pas ſuffiſamment compenſés par les vîteſſes précédemment acquiſes. Ceſt par cette raiſon qu'on explique un effet qui paroît encore plus ſingulier : c'eſt que la chûte qui ſe fait par la corde qui meſure l'arc du cercle comme *H I*, quoique plus courte, eſt cependant moins prompte ; ce qui eſt contraire au préjugé où l'on eſt que le chemin le plus court eſt toujours celui qui demande le moins de tems.

Il eſt tems maintenant de prouver que les corps remontent à la même hauteur d'où ils ſont deſcendus, quelque direction qu'ils ayent eue en tombant, & par quelque eſpéce de ligne qu'on les conduiſe en remontant.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au centre du grand cercle de la machine que nous avons employée dans l'expérience précédente, on attache un pendule fait d'un fil de ſoie & d'une balle de plomb qui peut avoir 7 ou 8 lignes de diamétre, &

l'on calle le pied avec les vis, de manière que le fil du pendule en repos soit parallèle à la ligne *AB*. Il faut avoir 2 aiguilles de fer qui se fixent perpendiculairement au plan du cercle, l'une aux points *c* & *d*, *Fig.* 20. & l'autre aux points *e*, *f*, *g*, successivement.

VI. LEÇON.

EFFETS.

Quand on laisse tomber le pendule librement du point *h*, s'il ne rencontre point d'obstacles sur la ligne *ab*, il s'éléve jusqu'en *g*; s'il rencontre une aiguille au point *c*, il remonte en *f*, & si l'aiguille est placée en *d*, il remonte en *e*; on juge aisément de l'endroit où il s'éléve, en plaçant en *e*, *f* & *g* une aiguille de fer qu'il va toucher.

EXPLICATION.

La balle du pendule étant tombée de *h* en *b*, & ne rencontrant point d'obstacle, emploie la vîtesse qu'elle a acquise par son accélération, dans un arc de cercle, qui a le même centre que celui qu'elle vient de décrire; l'aiguille qui se trouve ensuite au

VI. LEÇON.

point *c* ou *d*, devient un nouveau point fixe, autour duquel elle emploie ce qu'elle a de mouvement; & au lieu de décrire l'arc *b g*, elle remonte par *b f* ou *b e*, ſelon la longueur du rayon qui lui reſte, après la rencontre de l'aiguille; mais quoiqu'elle remonte par des arcs fort différens, il eſt facile de voir qu'elle arrive toujours à la même hauteur, car *d e f g* ſont dans la même ligne

Cette expérience prouveroit trop, ſi le centre de la balle s'élevoit exactement juſques dans la ligne *d g*, parce que la réſiſtance de l'air, & quelques petits frottemens inévitables, lui font perdre un peu de ſa vîteſſe; auſſi doit-on faire attention que quand elle touche l'aiguille placée au point *e*, *f* ou *g*, il s'en faut de tout ſon demi-diamétre que ſon centre ne ſoit arrivé à cette hauteur.

APPLICATIONS.

Cette expérience nous conduit naturellement à dire quelque choſe de cette eſpéce de mouvement qu'on nomme *oſcillation*. Le fréquent uſage qu'on en fait dans les horloges, & la

liaiſon qu'il a avec la Phyſique, par les moyens qu'on emploie pour l'exécuter, exigent que nous faſſions connoître ce qu'il importe le plus d'en ſçavoir; mais nous devons nous borner à ce qui peut être ſoumis à l'expérience, & nous renvoyons pour ce qui eſt purement Mathématique, aux ſçavans Ouvrages de Galilée, de MM. Hughens, de Mairan, &c. & aux extraits qu'on en a faits.

VI. LEÇON.

On appelle *oſcillation* ou *vibration de pendule*, le mouvement d'une balle de plomb, ou de quelque autre corps équivalent, attachée par un fil, ou par une verge, à un point fixe, autour duquel elle décrit un arc, comme dans l'expérience que nous venons d'expliquer.

On diſtingue deux ſortes de pendules; le ſimple & le composé.

Le pendule ſimple ſeroit celui dont le fil de ſuſpenſion n'auroit aucune peſanteur, & dont la balle ne péſeroit que par un ſeul point, comme ſi, par exemple, toute ſa gravité réſidoit au centre.

Le pendule composé eſt celui qui péſe par pluſieurs points de ſa lon-

VI. LEÇON.

gueur, comme si, par exemple, la même verge de suspension portoit deux boules, l'une au-dessus de l'autre. Quand il n'y auroit qu'une balle à la même verge, si cette verge a un poids considérable, ou que la boule soit grande (ce qui est le cas le plus ordinaire dans la pratique), ce pendule alors doit être regardé comme composé, quoiqu'il soit d'usage de le nommer simple. Ce que nous allons dire d'abord touchant la théorie du pendule, doit s'entendre du plus simple, c'est-à-dire, de celui dont toute la pesanteur résideroit au point *h*, *Fig.* 20.

Ce point de gravité qui décrit les arcs, se nomme *centre d'oscillation*, & le point *a*, autour duquel il se meut, s'appelle *centre de mouvement*.

Quand la boule du pendule est amenée de *b* en *h*, & qu'on la laisse libre, sa pesanteur qui la sollicite à descendre, & le fil qui la retient toujours à égale distance du point *a*, lui font décrire l'arc *hb*; mais un corps qui descend ainsi par un, ou par plusieurs plans inclinés, acquiert la même vîtesse qu'il auroit, s'il étoit des-

cendu perpendiculairement de la hauteur *d b* du plan ; il continue donc ſon mouvement en remontant en *g*, c'eſt-à-dire, à une hauteur égale à celle d'où il eſt parti. Alors ayant conſumé toute ſa vîteſſe, il ne peut point paſſer outre ; il ne peut pas non plus reſter en repos, parce que ſa peſanteur exige qu'il deſcende ; & comme il eſt dans le même cas où il étoit au point *h*, il doit retourner de *g* en *b*, & de *b* en *h*, & ainſi de ſuite pour les autres vibrations : d'où l'on voit que rien n'approche plus du mouvement perpétuel qu'un pendule, puiſque ſans la réſiſtance du milieu, les oſcillations ſeroient toujours égales, la boule ayant toujours en *b* des vîteſſes ſuffiſantes pour remonter à la hauteur, dont il faut qu'elle deſcende pour en reprendre de pareilles.

Ceci ſe prouve fort bien avec la machine que nous avons décrite dans la *Fig.* 17. de la quatriéme Leçon, en employant un fil très-fin & une balle de plomb de 7 ou 8 lignes de diamétre ; car en s'y prenant ainſi, on réduit la réſiſtance de l'air à tres-peu

VI. Leçon.

de chose, & toutes les vibrations se partagent en deux arcs sensiblement égaux, à l'endroit le plus bas de la chûte,

Nous avons fait voir précédemment, que le tems de la chûte par la corde d'un cercle, est égal à la durée de celle qui se fait par le diametre du même cercle posé verticalement : nous avons remarqué aussi qu'un mobile qui descend par un arc de cercle, acheve sa chûte plutôt que s'il tomboit par la corde de cet arc; parce que, quoique cette ligne droite soit plus courte que la courbe correspondante, celle-ci beaucoup moins inclinée qu'elle à l'horizon dans sa partie la plus élevée, procure au mobile une vîtesse initiale, & de-là une accélération, qui fait plus que compenser l'excès de cette étendue. Mais comme la chûte par la corde est plus prompte quand le diamétre du cercle auquel elle répond est moins grand, parce que cette corde elle-même est plus courte à pareils dégrés d'inclinaison; de même aussi la chûte par l'arc doit durer moins quand cet arc fait partie d'une

plus petite circonférence ; car s'il eſt ſemblable à celui d'un plus grand cercle que le nombre de ſes dégrés, il a moins d'étendue que lui, comme on le peut voir, en comparant *b c* à *D H*, *Fig.* 19. & s'il a la même étendue, alors ſa partie ſupérieure *a b*, eſt moins inclinée à l'horizon ; par l'une ou par l'autre de ces deux raiſons, le mobile qui le parcourt doit achever la chûte en moins de tems. La derniére de ces deux cauſes ſurtout a tant de force, & contribue tellement à accélérer la chûte du mobile, que dans la même circonférence de cercle, les grandes vibrations ne durent preſque pas davantage que les plus petites.

En voilà aſſez pour faire ſentir qu'il y a une certaine proportion entre la durée d'une demi-vibration (je veux dire la chûte de *D* en *H*,) & la longueur du pendule ou du rayon qui conduit le mobile dans cet arc. Et en effet, la longueur du pendule étant donnée, on ſçait combien doit durer ſa demi-vibration, & ſa vibration entiére ; car lorſque le mobile *b* eſt à la fin de ſa chûte au point 3. *Fig.*

17. ſa vîteſſe acquiſe le fait remonter en *c*, dans un tems égal à celui qu'il a employé pour deſcendre ; ainſi la vibration totale ſe fait en deux tems parfaitement égaux ; & c'eſt connoître le tout que d'en connoître la moitié.

Cette proportion eſt telle que ſi l'on fait tomber un corps grave verticalement d'une hauteur qui égale deux fois la longueur du pendule, & que celui-ci décrive un petit arc de cercle, la durée de la demie-vibration eſt à celle de la chûte verticale, comme le quart de la circonférence d'un cercle eſt à ſon diamétre, c'eſt-à-dire un peu moindre, & dans le rapport de 11 à 14 à peu près.

Et ſi de deux pendules, l'un doit faire des vibrations qui durent 2 fois, 3 fois, ou 4 fois plus que celles de l'autre, il faut que ſa longueur ſoit pour cet effet 4, 9, ou 16 fois plus grande que la ſienne ; ainſi l'on doit dire que les longueurs des pendules ſont comme les quarrés des tems qu'ils meſurent : car 16 eſt le quarré de 4, 9 celui de 3, & 4 celui de 2.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On ôte l'alidade de la machine que nous avons repréſentée par la *Figure* 16. & l'on y laiſſe le pendule comme dans l'expérience précédente; on retient la balle à une petite hauteur, comme au point *G*, par le moyen d'une pince à reſſort qui ſe fixe à la circonférence du cercle; on retient de même une autre balle ſemblable en *A*, & l'on ajuſte les détentes de façon qu'en tirant le même fil, on faſſe ouvrir en même tems les deux pinces.

La fléche *D* qui eſt tronquée dans la figure, doit être aſſez longue pour y meſurer trois longueurs égales à *AB*, au-deſſus du point *A*, pour y placer la pince & la balle.

EFFETS.

1°. Quand on fait ouvrir les deux pinces, la balle *A*, & celle du pendule *G* partent en même tems, & celle-ci paſſe au point *B* un peu avant l'autre.

2°. Si l'on tranſporte la pince & la

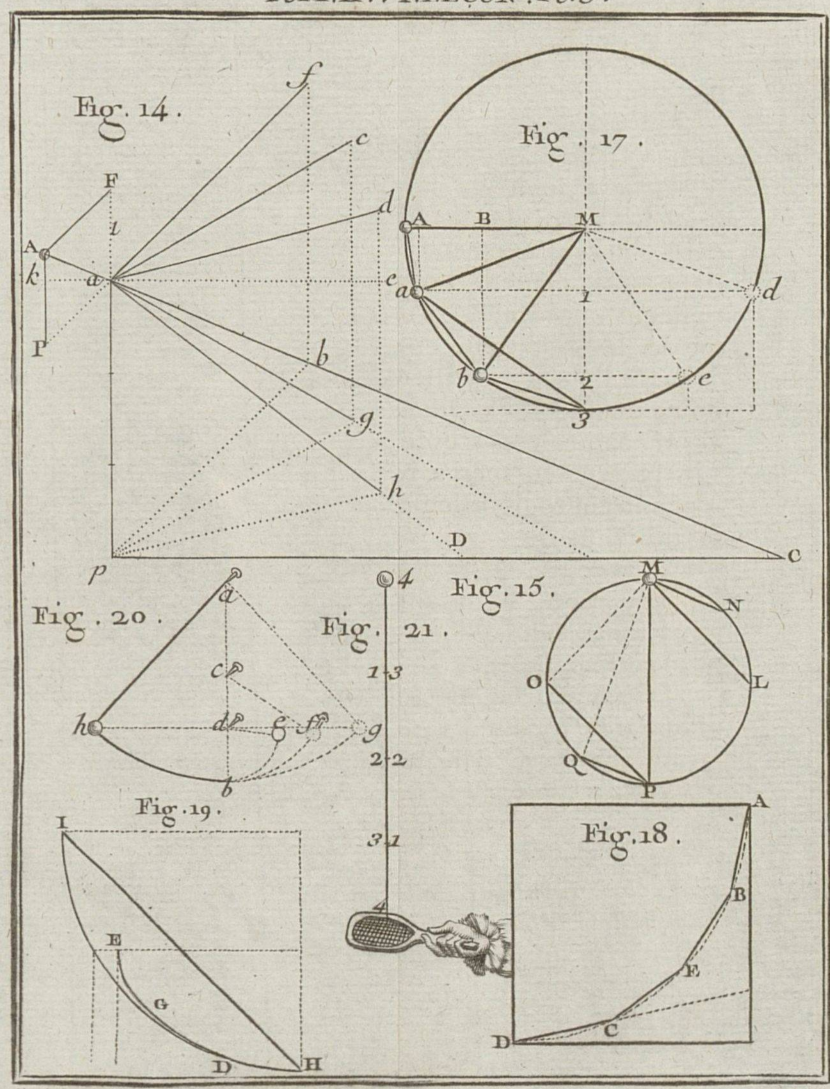
VI. LEÇON.

balle au bout de la fléche, de maniére qu'elle soit 4 fois aussi élevée que le diamétre *A B* ; en répétant ainsi l'expérience, la vibration entiére s'achéve sensiblement plutôt que la chûte verticale de la balle *A* ; ce qui s'observe aisément, en faisant frapper le pendule contre quelque obstacle sonore que l'on met au terme de la vibration.

3°. Si l'on fait osciller deux pendules de même longueur, comme *G*, *M*, & que leurs arcs soient égaux ; s'ils partent en même tems, ils se rencontrent toujours ensemble vis-à-vis de *B*.

4°. Si les arcs qu'ils décrivent sont inégaux, après un certain nombre de vibrations, celui qui a parcouru les plus petits, précéde l'autre.

5°. Enfin, si les pendules sont de différentes longueurs, quand bien même ils partiroient ensemble, le plus court fait des vibrations qui durent moins que celles de l'autre ; & si le rapport des longueurs est comme 1 à 4, le plus long ne fait qu'une vibration contre deux.


Fig. 14.
Fig. 17.
Fig. 15.
Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 19.
Fig. 18.

EXPLICATIONS.

Ces expériences, & les moyens qu'on emploie pour les exécuter, ſont expliqués par tout ce que nous avons dit ci-deſſus; & les résultats dont il eſt aiſé de faire l'application, prouvent évidemment les principes que nous avons établis en dernier lieu.

Le premier, par exemple, fait voir, contre l'opinion de pluſieurs Auteurs, que la chûte, par un petit arc de cercle, dure moins de tems que la deſcente par la corde correſpondante, car on voit qu'elle dure moins que par le diamétre; & nous avons montré précédemment, que par le diamétre, ou par la corde quelconque, le tems de la chûte eſt égal.

Le ſecond résultat confirme encore cette doctrine, & fait voir que le premier effet n'eſt point un accident qu'on doive au hazard : car ſi la demie-vibration duroit autant qu'une chûte verticale par le diamétre; pendant une vibration entiére, il faudroit que le mobile pût tomber d'une hauteur, égale à 4 fois ce même diamé-

VI. LEÇON.

tre; puiſqu'une vibration ſe fait en deux tems égaux; & que l'effet de la peſanteur eſt toujours trois fois auſſi grand dans le ſecond tems que dans le premier: cependant lorſqu'on fait tomber la balle d'une hauteur quadruple de la premiére, la différence entre le tems de ſa chûte, & la durée de la vibration, eſt encore plus grande & plus ſenſible: il eſt donc important, même dans la pratique, de ne point confondre, pour la durée, la chûte par la corde avec celle qui ſe fait par un petit arc, puiſque celle-ci dure notablement moins que la deſcente par le diamétre, qui ſe fait, comme on ſçait, en même tems que par la corde.

Il ſeroit à ſouhaiter qu'on pût repréſenter aux yeux, par ces mêmes expériences, le véritable rapport qu'il y a entre la durée de la chûte verticale par la longueur ſimple ou doublée du pendule, & le tems de la demie-vibration; mais le procédé méchanique n'eſt guère ſuſceptible de cette préciſion, & nos ſens auroient peine à la ſaiſir; je ne diſſimulerai pas même, que dans tout ce qui re-

garde le mouvement des corps en général, plusieurs des expériences qu'on emploie sont moins des preuves qui assurent la théorie, que des représentations qui en facilitent l'intelligence, & qui ne doivent être ni utiles ni agréables à ceux qui sont assez initiés dans les Mathématiques, pour s'éclairer tout d'un coup par la démonstration.

APPLICATIONS.

On sçait de quelle importance est la mesure du tems, non-seulement dans la vie civile, pour mettre de l'ordre dans nos actions & régler les devoirs de la société; mais encore dans la plûpart des Sciences, surtout dans l'Astronomie & dans la Physique, où la durée des effets est assez souvent le principal objet de notre étude, & le moyen le plus propre à nous donner une juste idée de la cause. Le pendule, comme il paroît par ce que nous venons de prouver, est un instrument qui peut mieux que tous ceux qui sont connus d'ailleurs, mesurer des parties de tems fort égales entr'elles, & nous en faire

VI. Leçon.

connoître la quantité par la durée & par le nombre de ses oscillations: on ne peut trop applaudir à ceux qui en ont fait la découverte, ou d'heureuses applications.

Galilée n'eut pas plutôt trouvé les propriétés du pendule, qu'il sentit l'avantage qu'on en pourroit tirer; l'usage qu'il en fit lui-même pour régler ses observations & ses expériences, lui valut une exactitude & une précision, qu'il auroit eu bien de la peine à se procurer autrement, & le dédommagea en quelque sorte du travail pénible que cette invention avoit pû lui coûter.

Mais le pendule, tel qu'il l'employoit, ne pouvoit mesurer qu'une quantité de tems peu considérable, parce que la résistance de l'air diminuoit peu à peu l'étendue des oscillations, & les faisoit enfin cesser, si quelqu'un n'avoit soin de ranimer le mouvement. De plus il falloit avoir l'attention de les compter l'une après l'autre, pour en avoir la somme: & cette sujétion rendoit cette nouvelle mesure du tems impraticable en bien des occasions, de sorte que le pen-

dule n'étoit encore qu'un inſtrument de Philoſophe, dont ne pouvoit profiter le commun des hommes, qui préfère toujours la facilité à l'exactitude, quand l'une & l'autre ne vont point enſemble.

M. Hughens, en 1657, fit une application du pendule, dont tout le monde peut profiter ; il le joignit aux horloges pour régler leur mouvement, & cette ingénieuſe addition a eu tant de ſuccès, & a été ſi généralement reçue, que les horloges de chambre en ont pris le nom de *pendules*.

Pour être en état d'entendre comment un pendule rend une horloge plus exacte, il faut ſçavoir que ces ſortes d'inſtrumens ſont animés par un reſſort, ou par un poids qui met en mouvement un certain nombre de roues, par le moyen deſquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran : ſi ce mouvement n'étoit point retenu par un modérateur, il ſeroit trop précipité, & l'aiguille qui marque les heures, ne pourroit jamais aller aſſez lentement, pour ne faire que deux tours en 24 heures.

VI. LEÇON.

Mais ſi le modérateur eſt ſujet à des inégalités, ſoit qu'il les cauſe lui-même, ſoit qu'il ſe laiſſe maîtriſer par celles du rouage, ou du moteur qui l'anime, le mouvement ſera inégalement modéré. & l'aiguille ne meſurera pas en tems égaux des parties égales du cadran, il y aura des heures qui paroîtront plus longues ou plus courtes qu'elles ne doivent être.

C'eſt à ce modérateur imparfait juſqu'alors, que l'on a ſubſtitué le pendule, & voici comment.

Comme toutes les roues s'engrennent réciproquement, & qu'elles ne peuvent ni ſe mouvoir, ni s'arrêter l'une ſans l'autre, ſi l'une de ces roues va réguliérement, le mouvement commun de toutes les autres ſera régulier. Une d'entr'elles qu'on nomme *rochet*, ou *roue de rencontre*, ne peut tourner que quand une certaine piéce, qui porte deux palettes, ou quelque choſe d'équivalent, ſe léve pour laiſſer paſſer une de ſes dents. Si du paſſage d'une dent à l'autre il ſe paſſe toujours des tems égaux, & que la roue ſoit exactement diviſée, il eſt évident que le mouvement de

cette roue, & celui de toutes les autres ausquelles elle communique, sera parfaitement uniforme. C'est donc à cette piéce d'*échappement* qu'on a adapté le pendule, afin que ses vibrations, dont la durée est toujours égale, rectifiassent les petites irrégularités qui peuvent venir du rouage, ou de la force motrice.

VI. Leçon.

Nous avons dit que les oscillations qui se font par les arcs du même cercle, ne sont point d'une durée parfaitement égale, quand ces arcs sont plus grands les uns que les autres : quoique cette différence soit fort petite, & qu'on puisse la négliger, quand il ne s'agit que d'un tems peu considérable, cependant après un grand nombre d'oscillations, ces petites quantités multipliées feroient une somme sensible, & cette source d'erreur n'a point échappé à M. Hughens. Il prévit bien qu'avec le tems le rouage d'une horloge se saliroit, que les huiles s'épaissiroient, que les frottemens pourroient s'augmenter, en un mot que le mouvement pourroit se rallentir, & que le pendule réglé d'abord pour faire des oscillations d'u-

VI. LEÇON.

ne certaine grandeur, les feroit plus courtes dans la ſuite. C'eſt ce qui le porta à chercher une courbe d'oſcillation, dans laquelle il fût abſolument indifférent que le pendule meſurât de grands ou de petits arcs. Le ſuccès de ſes recherches, auſquelles pluſieurs Sçavans prirent part, fut auſſi heureux que leur objet étoit curieux & intéreſſant pour la Géométrie ; il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit, & il la ſubſtitua au cercle, en mettant au centre du mouvement du pendule une portion de cette courbe, autour de laquelle le fil qui ſuſpendoit la verge pouvoit s'envelopper. Mais, comme nous l'avons fait voir par la *Fig.* 19. le cercle & la cycloïde ſe confondent en la partie inférieure ; les oſcillations ſe font auſſi exactement dans le cercle, ſi elles ont peu d'étendue ; & c'eſt le parti que l'on a pris depuis dans l'Horlogerie, pour éviter une certaine flexibilité qu'il falloit donner à la verge en ſa partie ſupérieure, pour obéir à la portion de cycloïde qui devoit déterminer la nature de ſon mouvement.

Mais ſi la Géométrie a fourni des moyens pour rendre les vibrations toujours égales en durée, par la nature ou par la quantité de la courbe dans laquelle elles ſe font, des cauſes phyſiques les dérangent ſouvent, par les changemens qu'elles apportent à la longueur du pendule.

Comme il faut que le pendule maîtriſe la piéce principale qui ſert à l'échappement, on ne peut pas ſuſpendre la boule, ou la lentille qui fait les vibrations, avec un fil mince & flexible; on ſe ſert ordinairement d'une verge d'acier, qui a environ une demie-ligne d'épaiſſeur, & 3 ou 4 lignes de large. Ces deux dimenſions, & ſa longueur ſur-tout, ne ſont conſtantes que dans une températu-re parfaitement égale; car du plus grand froid au plus grand chaud, un tel pendule devient ſenſiblement plus ou moins long, par la dilatation ou par la condenſation du métal, comme nous le ferons voir en parlant des effets du feu. Les oſcillations, par cette ſeule cauſe, feront donc plus lentes en Eté qu'en Hyver; la même horloge avancera & retardera ſuivant les

VI. LEÇON.

différentes saisons ou les différens états de l'air dans lequel elle est.

Le soupçon d'un pareil effet suspendit le jugement des Physiciens, sur l'observation de M. Richer à la Cayenne ; plusieurs crurent que le retardement du pendule qu'il attribuoit à la pesanteur plus diminuée par la force centrifuge vers l'Equateur, qu'en France, n'étoit qu'un effet de la chaleur du climat qui avoit allongé le pendule. Mais les expériences qui ont été faites depuis avec beaucoup de soin par plusieurs personnes fort intelligentes, & sur-tout par les Académiciens qui étoient allés par ordre du Roi tant au Cercle polaire qu'à l'Equateur, pour les mesures qui devoient constater la figure de la terre ; ces expériences, dis-je, font connoître évidemment que ce n'est point la température du climat, mais sa position, qui a obligé M. Richer à raccourcir son pendule, parce que l'état de l'air à la Cayenne n'est point assez différent de la température que nous avons à Paris, eu égard à la correction qu'on est obligé de faire au pendule. Car, selon M. de

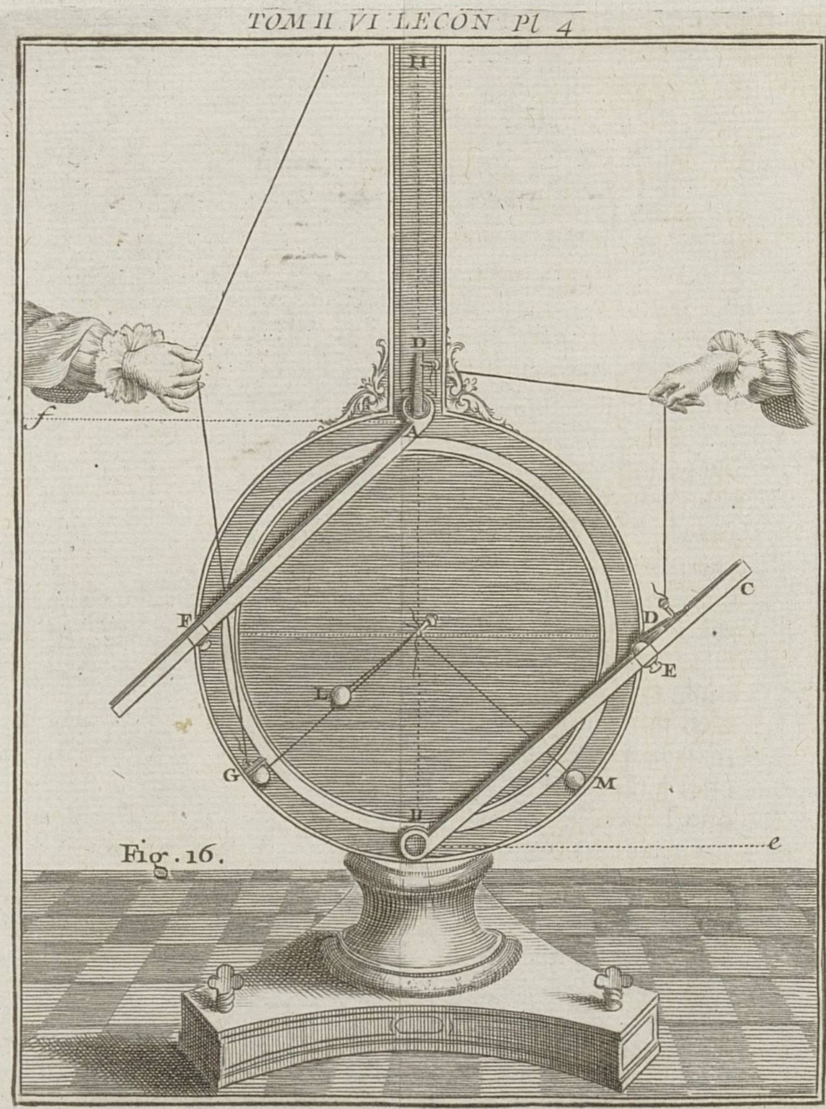


Fig. 16.

D. et G. p. Moreau.

Mairan * dont on connoît la ſagacité & l'exactitude, le pendule le plus ſimple qu'on puiſſe exécuter, c'eſt-à-dire, une boule de métal d'un pouce de diamétre ſuſpendue par un fil de pite, doit avoir, pour battre les ſecondes à Paris, 3 pieds 8 lignes & $\frac{17}{30}$ de ligne, à compter du centre d'oſcillation juſqu'à celui du mouvement; & par toutes les expériences qui ont été faites en différens tems, & par diverſes perſonnes, il réſulte conſtamment, qu'un tel pendule ſeroit de plus de deux lignes trop long pour battre les ſecondes dans les climats voiſins de l'Equateur; difference trop grande pour pouvoir être attribuée à la température du lieu; car l'expérience * fait voir qu'une chaleur égale à celle de l'eau bouillante, n'allonge que d'un tiers de ligne une verge de fer de 3 pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$, telle qu'on l'emploie pour le pendule.

* *Mem. de l'Acad. des Scien.* 1735. p. 203.

* *Mém. de l'Acad. des Scien.* 1735. pag. 214.

Pour procurer au pendule toute la perfection qu'il mérite, les Phyſiciens ont imaginé d'oppoſer à elle-même la cauſe qui en fait varier la longueur: la dilatation, en allongeant

VI. LEÇON.

la verge, fait descendre trop bas le centre d'oscillation ; ce dérangement n'en sera plus un, si quelque autre piéce dilatée par la même chaleur & en même tems, agit en sens contraire, & en telle proportion, que l'allongement de la verge n'ait pas son effet ; on a imaginé pour cela plusieurs moyens qui ont assez bien réussi. M. Julien le Roi qui joint aux talens d'un excellent Artiste, les connoissances physiques, & les vûes qui tendent à la perfection de l'horlogerie, en a proposé & exécuté un dont le succès est assuré par une expérience de plusieurs années. Et il y a 8 ou 10 ans que M. de Cassini donna à l'Académie le projet d'un autre qui fut fort applaudi, parce qu'il peut s'employer plus commodément que la plûpart de ceux qui sont connus jusqu'à présent, & que d'ailleurs il ne promet pas moins d'exactitude. Mais comme le mal & le reméde dont il est ici question, ont leur source commune dans la dilatation plus ou moins grande des métaux, nous remettons ce que nous avons à en dire à la Leçon qui traite du feu, & des effets de la chaleur sur les corps.

ARTICLE

VI. LEÇON.

ARTICLE II.

Du mouvement des corps causé par la pesanteur & par une force active & uniforme.

CETTE force que nous supposons agir avec la pesanteur sur le même mobile, se nomme ordinairement *force projectile*; tel est l'effort du bras qui jette une pierre, ou celui de la poudre qui chasse une bombe.

Ce mouvement une fois déterminé par le moteur, continueroit uniformément, si la résistance des milieux, les frottemens, &c. n'y mettoient obstacle ; quoique cela soit inévitable dans l'état naturel, nous en ferons cependant abstraction, parce qu'il est plus simple & plus facile de faire connoître ce qui seroit, si ces obstacles n'y étoient pas, que de dire exactement ce qui est, lorsqu'ils y sont.

Quand un coup de raquette, *Fig.* 21. ou quelque autre impulsion détermine une balle à s'élever de bas en haut perpendiculairement à l'horizon, elle lui imprime une force directement

VI. LEÇON.

opposée à la pesanteur, le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pesanteur ; c'est-à-dire, que si la premiére est capable de produire une ascension de 60 pieds par seconde, comme l'autre opère une chûte de 15 pieds en pareil tems, l'élévation de la balle sera bornée à 45 pieds pour la premiére seconde. Dans la seconde suivante, la pesanteur ayant trois fois plus d'effet que dans la premiére, causera un rabais de 45 pieds sur les 60 que la balle auroit fait en vertu de la force projectile qui agit uniformément ; ainsi elle ne s'élévera que de 15 pieds, après quoi elle cessera de monter, parce qu'alors la pesanteur a de l'avantage sur la force projectile, celle-ci ne donne jamais qu'une vîtesse de 60 pieds par seconde au mobile ; celle-là au troisiéme temps lui donne une vîtesse de 5 fois 15, c'est-à-dire, de 75 pieds en sens contraire. Il arrive donc en pareil cas, ce que nous avons fait voir * qu'il arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vîtesses acquises par sa chûte accélérée.

* *I. Sect. six. Exper. Fig. 12.*

Dirigeons maintenant la force projectile horizontalement ; & en la supposant toujours uniforme, partageons son effet total *FG*, *Fig.* 22. en quatre parties égales, qui représentent autant d'instans semblables. Si le mobile *F*, pendant le premier tems, descend de la quantité 1 *a* en vertu de sa pesanteur, pendant le tems suivant, la même cause agissant trois fois plus le fera tomber de la quantité *b c*, qui jointe au produit de la premiére chûte, donnera 2 *c* ; en ajoûtant de même à cette derniére quantité 3 *d*, l'effet du troisiéme tems *d e*, & à cette somme 3 *e*, le produit du quatriéme tems *fg*, on aura une suite de points *F a c e g*, qui formeront une espece de courbe que les Géométres nomment *parabole*.

VI. LEÇON.

Hors la perpendiculaire à l'horizon, dans quelque direction que l'on mette la force projectile, pourvû qu'elle soit uniforme, si la pesanteur agit en même tems sur le mobile, le mouvement composé de ces deux forces se fait toujours sensiblement dans cette courbe, il n'y a de différence que pour l'*amplitude* qui est plus

ou moins grande, comme *Hg* ou *Hi*.

En ſuppoſant, par exemple, que le mobile *M*, *Fig*. 23. tende directement au point *P* par une force projectile, ſi l'on retranche de cette force, pendant une ſuite d'inſtans égaux, autant de parties qui expriment les effets de la peſanteur, en augmentant entr'elles comme le quarré des tems; c'eſt-à-dire, qu'après le ſecond tems elle ait perdu 4 fois plus qu'après le premier, à la fin du troiſiéme neuf fois davantage, &c. l'extrémité de toutes ces lignes qui expriment les déviations cauſées à la direction de la force projectile par la peſanteur, donnera la courbe *M r q*; c'eſt-à-dire, deux demi-paraboles ſemblables à celle de la *Fig*. 22. qui ſe joignent au ſommet *r*.

Avant que de mettre ceci en expérience, il eſt à propos d'avertir qu'on ne doit pas s'attendre à des effets parfaitement conformes à la théorie; les Géométres énoncent les choſes avec exactitude, parce qu'ils n'ont qu'à ſuppoſer les quantités qui doivent entrer dans leurs calculs; mais quand il

faut que la Physique s'en mêle, il y a presque toujours à rabattre, parce que l'on a le plus souvent supposé trop ou trop peu; la force projectile & la pesanteur ne peuvent produire ensemble un mouvement vraîment parabolique, que quand elles ne souffrent aucune altération; quand, par exemple, la premiére est toujours uniforme dans tous les instans, & que la seconde est toujours exactement accélérée, selon la progression que nous avons établie; & cela n'est point dans l'état naturel, parce que la résistance de l'air retarde l'une & l'autre, & les retarde irréguliérement.

Il y auroit bien encore quelque chose à dire en faisant attention que la direction de la pesanteur n'est point paralléle à elle-même; c'est-à-dire, que toutes les lignes perpendiculaires à l'horizon, par l'extrémité desquelles le mobile passe pour décrire la courbe *F a c e g*, ne sont point paralléles comme on le suppose, puisqu'elles tendent toutes au centre de la terre; mais la force projectile que nous sommes capables d'imprimer à un corps, donne un mouvement d'une

VI. LEÇON.

ſi petite étendue, que cette cauſe n'a lieu que dans la rigueur géométrique, & ne produit aucun effet ſenſible.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 24. repréſente une cuvette plus longue que large, qui porte ſur un de ſes grands côtés un plan vertical, & ſur un de ſes petits côtés, un gros tuyau de verre, au bas duquel eſt une eſpéce de robinet, dont la clef en tournant porte dans toutes ſortes de directions le petit ajutage *A*, que l'on ouvre en tournant une autre petite clef *B*; on met du mercure dans le tuyau juſqu'à une hauteur convenable; & le robinet eſt percé de façon que les frottemens ſont diminués le plus qu'il eſt poſſible.

EFFETS.

1°. L'ajutage *A* étant vertical, lorſqu'on laiſſe échapper le mercure, il ſe fait un petit jet dans la même direction, qui après s'être élevé un peu moins haut que la ſurface ſupérieure

du réſervoir *C*, retombe ſur lui-même, & s'épanouit comme les jets d'eau qu'on voit dans les jardins.

2°. Lorſqu'on met l'ajutage dans la direction horizontale *AD*, & que le mercure eſt à une hauteur convenable dans le tuyau, le jet ſe fait vis-à-vis de la parabole *AED*.

3°. Quand l'ajutage eſt oblique, comme dans la direction *AF* ou *AG*, le jet décrit l'une ou l'autre des paraboles *AIK*, ou *ALM*.

EXPLICATIONS.

Lorſque le mercure ſort par l'ajutage, il eſt pouſſé par une force projectile qui lui vient de la peſanteur de celui qui eſt dans le tuyau, & cette force peut être regardée comme uniforme, ſi le jet dure peu, & que la ſurface *C* du réſervoir ne baiſſe point ſenſiblement. Le mercure s'éléve juſqu'à ce que ſa peſanteur qu'il faut vaincre, ait conſumé entiérement ſa force projectile; & cet effet arrive avant qu'il parvienne à la hauteur de la ſurface *C*, parce que les frottemens & la réſiſtance du milieu affoibliſſent un peu cette force qui le fait monter.

VI. LEÇON.

Quand le jet de mercure s'échappe dans une direction horizontale, il continueroit dans la même ligne, s'il n'obéissoit qu'à la force qui le pousse dehors; mais dès qu'il est sorti, la gravité s'en empare aussi, & son action qui croît comme les nombres impairs 1, 3, 5, &c. fait voir à l'œil ce que nous avons supposé dans la *Fig.* 22.

Enfin l'on peut dire la même chose de la ligne que décrit le mercure lorsqu'il s'échappe par *AF* ou *AG*: sa pesanteur ne lui permet pas d'y continuer son mouvement; elle l'en écarte par des quantités qui sont conformes aux loix de son accélération, & la ligne qu'il suit est sensiblement une parabole, parce que vers la fin, où la résistance de l'air fait le plus d'obstacle, le jet, en s'épanouissant, devient plus large, & la partie supérieure ne sort presque pas de la parabole géométrique, qui est tracée sur le plan.

On peut encore appeller ici en preuves les expériences sur le mouvement composé, où nous avons fait entrer la pesanteur pour une des puis-

ſances compoſantes ; telles ſont celles que nous avons repréſentées par les *Figures* 11. & 13. Car dans l'une & dans l'autre, la courbe que trace le mobile par ſon mouvement, & que nous n'avons pas nommée alors, eſt encore une parabole, comme on le peut voir en y appliquant les régles que nous avons établies ci-deſſus.

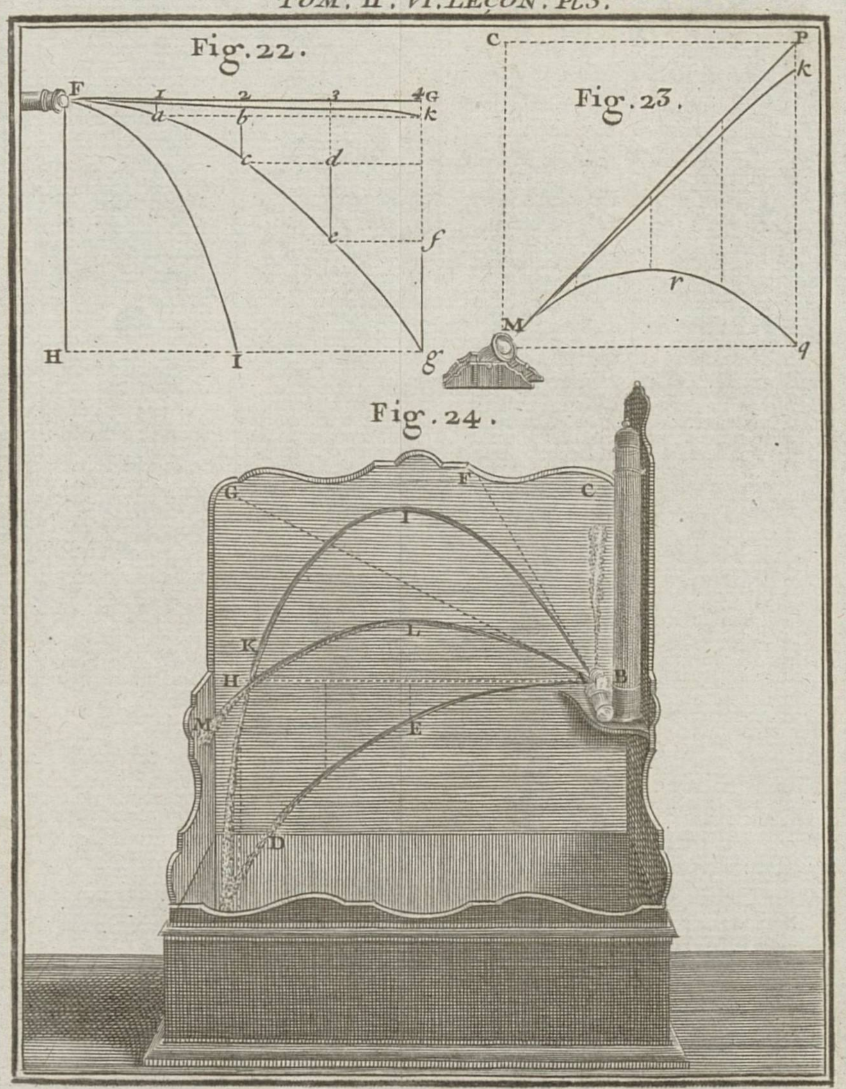
APPLICATIONS.

Toute la *balliſtique*, c'eſt-à-dire, cette partie de l'artillerie qui conſiſte à meſurer avec juſteſſe le jet d'un corps fort peſant, comme une bombe, un boulet de canon, &c. conſiſte dans la combinaiſon qu'il faut faire de la force projectile, & de la peſanteur du mobile. On conçoit aiſément, par la ſeule inſpection des *Figures* 22. & 23. que la direction d'un boulet de canon ou d'une bombe étant une fois réglée, l'amplitude de Hg ou Mq eſt d'autant plus grande, que le mobile eſt pouſſé avec plus de vîteſſe ; car s'il pouvoit parcourir dans le premier inſtant toute la diſtance qui eſt entre les deux paralléles FH, Gg, ou MC, Pq, la pa-

VI. LEÇON.

rabole passeroit au point *k*, & ne différeroit pas beaucoup d'une ligne droite : ainsi un mortier qui a une certaine inclinaison, chasse donc la bombe d'autant plus loin, que la force projectile imprime plus de vîtesse; mais cette force projectile vient de l'explosion de la poudre, & c'est une chose très-difficile que d'estimer avec quelque justesse la valeur de cette impulsion. Elle dépend principalement de la qualité de la poudre & de la quantité, non pas que l'on y emploie, mais qui s'enflamme ; car il ne faut pas croire que dans ces grandes charges, le feu prenne par-tout avant le départ : l'expérience a fait voir qu'une grande partie tourne en pure perte ; ainsi l'on voit qu'une des quantités les plus essentielles à connoître, pour juger le mouvement d'une bombe, est sujette à beaucoup de variations ;* aussi quoiqu'on exige avec raison que les Officiers d'Artillerie soient instruits des principes, on a encore plus de raisons pour vouloir qu'ils soient bien exercés aux Ecoles établies dans cette vue.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1716. *pag.* 79.


Fig. 22.
F
1
2
3
4
G
a
b
k
c
d
e
f
H
I
g
Fig. 23.
C
P
k
r
M
q
Fig. 24.
G
F
C
I
L
K
H
A
B
M
E
D

VII. LEÇON.

Sur l'Hydroſtatique.

ON appelle *Hydroſtatique* la ſcience qui a pour objet, la peſanteur & l'équilibre des liqueurs. Quoique la gravité de ces corps ſoit la même que celle des autres, & qu'elle ſoit ſoumiſe aux mêmes loix que nous avons enſeignées dans la Leçon précédente, l'état de liquidité donne lieu à des phénoménes particuliers qu'il eſt important de connoître, & qui méritent d'être traités à part.

Archiméde, parmi les anciens Philoſophes, eſt celui qui paroît avoir fait le plus de progrès dans cette étude; on lui fait encore honneur aujourd'hui de la maniére ingénieuſe par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la peſant dans l'eau. Parmi les modernes, Galilée, Toricelli, Deſcartes, Paſchal; & dans ces derniers tems Mrs. Ma-

VII. LEÇON.

riotte & Varignon, ont ajouté beaucoup de belles connoiſſances à celles que l'on avoit déja ; & leurs expériences auſſi convaincantes que curieuſes, nous ont mis en état de ſçavoir ce que nous devons craindre ou attendre de la force des eaux qui agiſſent par leur poids, & comment nous pouvons la tourner à notre utilité, en l'employant par le moyen des machines hydrauliques.

Les liqueurs, ſuivant l'idée que nous en avons donnée dans notre premiére Leçon, page 44. ſont des matiéres dont les molécules extrêmement petites & mobiles entre elles, n'ont point une cohérence bien ſenſible, de façon que chacune obéit librement à ſon propre poids : tout au contraire des corps ſolides, dont les parties liées & adhérentes les unes aux autres, réſiſtent plus ou moins fortement à leur ſéparation, ne ſe meuvent que toutes enſemble, & exercent leur peſanteur en commun.

Nous ne cherchons point ici quelles ſont les cauſes de la liquidité, ni les différentes propriétés qui con-

viennent à cet état des corps : ces questions trouveront leurs places dans la suite. Il ne s'agit maintenant que de la maniére dont les liqueurs pésent ; & comme tout ce qui est liquide, ne l'est pas également, il est bon d'avertir que ce qu'exigent les loix de l'hydrostatique, s'exécute d'autant moins exactement, que les corps s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau & l'huile se répandent si leurs vaisseaux viennent à se casser ; mais l'entiére effusion de celle-ci est plus lente.

Les fluides dont les parties sont aussi subtiles, aussi mobiles que celles des liqueurs, ont les mêmes propriétés qu'elles ; mais s'ils sont composés de molécules grossiéres & capables de s'accrocher fortement les unes aux autres, leur gravité a des effets un peu différens : l'air prend aussi exactement que l'eau, la forme du vaisseau qui le contient ; mais la fumée ne se répand pas de même, ni aussi promptement, dans le lieu où elle est.

Pour se former de la pesanteur des liqueurs ou des fluides une idée juste,

VII. LEÇON.

une idée qui facilite l'intelligence des phénoménes que nous avons à expliquer, il faut considérer les matiéres qui sont en cet état, comme un amas de petits corps solides, très-durs, indépendans les uns des autres, pesans séparément & à proportion de leurs petites masses. Mais une chose sur-tout qu'on ne doit jamais oublier, c'est l'extrême petitesse de ces molécules, qui les rend non-seulement impalpables, mais qui les soustrait aux yeux les plus perçans, lors même qu'ils empruntent le secours des meilleurs microscopes. C'est principalement de cette derniére qualité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique, ceux dont l'explication a peine à se concilier avec une démonstration rigoureuse.

Nous comprendrons en trois sections ce que nous avons à dire touchant l'hydrostatique. Dans la premiére, nous examinerons de quelle maniére s'exerce la pesanteur d'une liqueur dont les parties sont homogènes, ou considérées comme telles; dans la seconde, nous ferons voir

comment se comportent ensemble plusieurs liqueurs dont les densités sont différentes ; & dans la troisiéme, nous comparerons les corps solides avec les liqueurs, en les y plongeant.

VII. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

De la pesanteur & de l'equilibre des liqueurs, dont les parties sont homogènes.

SElon l'idée que nous nous sommes faite des liqueurs, celles qui sont homogènes sont composées de particules qui sont semblables, tant par la figure, que par la grandeur & le poids : une certaine quantité d'eau, par exemple, sera donc un amas de très-petits corps mobiles, qui auront des forces égales pour se mouvoir de haut en bas ; sur ces principes on peut établir les propositions suivantes.

PREMIERE PROPOSITION.

Les liqueurs pésent, non-seulement quant à leur masse totale, mais encore en elles-mêmes, c'est-à-dire, quant aux parties qui les composent.

VII. LEÇON.

La premiére partie de cette propoſition n'a pas beſoin d'autre preuve, que l'expérience qu'on en a tous les jours, en portant un verre plein d'eau ou de vin à la bouche ; on ſent bien que quand il eſt vuide, il ne péſe pas autant. Comment donc ſe pourroit-il faire qu'une ſomme de petits corps peſans n'euſſent point de poids ?

L'autre partie eſt une ſuite néceſſaire de la premiére, & ne ſemble pas avoir plus beſoin qu'elle d'être prouvée. Car ſi la maſſe totale péſe, d'où lui peut venir cette peſanteur, ſinon des parties matérielles qui la compoſent ? Cependant la plûpart des Phyſiciens s'y arrêtent, parce qu'il s'en eſt trouvé quelques-uns qui ont prétendu que les liquides ne peſoient point *dans leur propre élément* ; mais par cette expreſſion vouloient-ils dire que les parties d'une liqueur ne péſent point dans la maſſe qu'elles compoſent ; qu'elles n'ont plus de peſanteur abſolue? Ou bien ſeulement, qu'elles ſont en équilibre entre elles ? Si ce dernier ſens eſt celui qu'ils ont attaché à leur propoſition, c'eſt combattre un phantôme, que de s'amu-

ſer

ſer à prouver qu'une certaine quantité d'eau, par exemple, eſt encore peſante, quand elle eſt mêlée avec d'autre eau, ou qu'elle contribue au poids de la maſſe dont elle fait partie. Quoi qu'il en ſoit, voici la preuve qu'on en donne.

VII. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 1. repréſente un fléau de balance, qui tient en équilibre dans un vaſe plein d'eau, une petite bouteille de verre fort épaiſſe, vuide & bouchée.

EFFETS.

Auſſi-tôt qu'on débouche la bouteille, elle s'emplit d'eau, & elle va au fond du vaſe.

EXPLICATIONS.

On ſçait que de deux corps attachés aux bras d'une balance, celui qui enléve l'autre a plus de poids; ſi la bouteille, en ſe rempliſſant d'eau, enléve le baſſin qui la ſoutenoit en équilibre, c'eſt que cette eau la rend

VII. LEÇON.

plus pesante qu'elle n'étoit ; & pour preuve que l'augmentation de son poids n'est autre chose que celui de l'eau qu'elle reçoit, il n'y a qu'à rétablir l'équilibre, en ajoutant du poids dans le bassin opposé ; ce poids ajouté sera égal à celui d'une pareille quantité d'eau pesée hors de la masse dont elle fait partie : ce qui fait bien voir, à quiconque en voudroit douter, qu'une certaine quantité de liqueur a toujours sa pesanteur absolue, soit qu'elle fasse partie d'une plus grande masse de la même liqueur, soit qu'elle se prenne séparément.

APPLICATIONS.

Des exemples sans nombre nous mettent tous les jours sous les yeux des effets semblables à celui que nous venons de voir dans l'exemple précédent. De même qu'une bouteille, quand on la débouche, devient plus pesante par l'eau qui la remplit, un seau qui flotte, ou une barque s'enfonçent & se perdent, lorsqu'il s'y fait quelque ouverture qui lui fait faire eau. La matiére qui compose ces sortes de vaisseaux, est ordinai-

rement plus pesante que le fluide qui les soutient, s'il peut s'y introduire & remplir leurs capacités, le tout ensemble fait une masse dont le poids excéde celui d'un égal volume d'eau; & par cette raison, le vaisseau tombe au fond.

Les corps bien poreux ou spongieux, qui demeurent quelque tems exposés à un air humide, comme les bois, les pierres tendres, la terre même, n'en deviennent-ils pas plus pesans? & tout au contraire ne perdent-ils pas dans un air plus sec, une partie de leur poids avec leur humidité? Ceux qui vendent au poids des marchandises qui sont susceptibles de sécheresse & d'humidité, comme le tabac, l'indigo, le sucre, &c. ont grand soin de les tenir dans des lieux frais, pour prévenir ou réparer une évaporation qui leur causeroit un déchet réel.

On est dans l'usage de conserver dans l'eau les bois qu'on destine à la construction des vaisseaux. Quand on les a jettés dans le bassin, on les voit surnager d'abord, mais peu à peu ils s'enfoncent, & demeurent cachés

VII. LEÇON.

ſous la ſurface de l'eau : c'eſt que ce liquide les pénétre avec le tems, ſoit qu'il rempliſſe des vuides, ſoit qu'il prenne la place d'autres matiéres plus légères qui cédent à ſon effort, & alors la piéce compoſée de bois & d'eau, égale ou ſurpaſſe même en peſanteur le liquide qui l'environne ; car c'eſt un fait conſtant, que les parties propres du bois le plus léger péſent plus que l'eau. Le liége même ne ſurnage plus, lorſqu'ayant été long-tems macéré, ſes parties ſe déſuniſſent, & ne compoſent plus, comme d'ordinaire, un volume où il y a beaucoup plus de vuide que de ſolide.

L'eau qui pénétre les corps, ajoute donc à leur poids, en qualité de liqueur peſante, non-ſeulement lorſque ces corps ſont hors d'elle, mais lors même qu'ils y ſont entiérement plongés ; & cela, parce que les parties des liquides, comme celles des autres corps, ſont de petites portions de matiére, & que toute matiére eſt peſante.



II. PROPOSITION.

Les parties d'une même liqueur exercent leur peſanteur, indépendamment les unes des autres.

Cette propriété leur vient de ce qu'elles n'ont point de cohérence ſenſible, de ce qu'elles peuvent ſe ſéparer preſque ſans effort, tout au contraire des corps ſolides, dont les parties ſont liées, adhérentes & difficiles à déſunir. Si l'on veut enlever une pierre, ou un morceau de bois, par quelque endroit qu'on le prenne, on ſoutient toute ſa maſſe, il eſt bien naturel qu'on en ſente auſſi tout le poids : mais ſi l'on met le bout du doigt ſous le fond d'un vaiſſeau percé & plein de liqueur, pour arrêter l'écoulement, on n'a à vaincre que le poids de la colonne qui répond perpendiculairement au trou ; car pourquoi porteroit-on les autres, ſi celle-là peut tomber ſans les entraîner avec elle ? L'expérience rendra ceci évident.

VII. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au fond d'un grand vaiſſeau cylindrique de verre, repréſenté par la *Fig.* 2. on a pratiqué un trou & une virole cylindrique d'un pouce de diamétre, que l'on bouche avec un morceau de liége bien arrondi & graiſſé, afin qu'il puiſſe céder à une médiocre preſſion ; le canal commencé par la virole, eſt continué dans le vaiſſeau par un tube de verre *A*, de même diamétre, qui peut s'ôter quand il en eſt beſoin ; & le tout eſt porté ſur un trépied, au-deſſus d'un plat ou d'un baſſin, pour recevoir l'eau qui s'écoule.

EFFETS.

Après avoir verſé doucement de l'eau dans le tuyau *A*, on remarque à quelle hauteur elle eſt ; quand ſon poids chaſſe le bouchon *B*, on ôte le tuyau, on remet le bouchon, comme il étoit avant, & ſi l'on emplit le vaſe juſqu'à ce que le bouchon ſorte de ſa place, on pourra ob-

ſerver que l'eau eſt préciſément à la même hauteur qu'elle étoit précédemment dans le tuyau.

EXPLICATIONS.

On ne peut diſconvenir que le bouchon *B* ne ſoit chaſſé de ſa place par le poids de l'eau. Il réſiſte autant, lorſqu'on emplit le grand vaiſſeau, que quand on ne charge que le tube, pourvû que ce ſoit à même hauteur : il eſt donc évident que ce tuyau ne change rien à la preſſion du fluide, & que la colonne qui péſe ſur le bouchon, agit de même, ſoit qu'on la ſépare du reſte par une enveloppe ſolide, ſoit qu'elle ait communication avec la maſſe totale. Ne diſſimulons pas cependant que le frottement cauſe quelque petite différence, parce que cette réſiſtance eſt plus grande, quand la colonne d'eau ſe meut dans un tuyau dont la ſurface eſt ſolide, que quand elle n'eſt contenue que par une maſſe d'eau dont les parties ſont roulantes.

Pour prendre une idée juſte de ces ſortes d'écoulemens, & pour concevoir avec facilité pourquoi les flui-

VII. LEÇON.

des exercent leur peſanteur autrement que les ſolides, il faut ſe repréſenter, comme on le voit par la *Fig.* 3. toute la maſſe d'eau contenue dans notre grand vaſe, diviſée en pluſieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5, dont chacune eſt composée d'un égal nombre de parties ; ſi le fond du vaiſſeau qui ſert de baſe & d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la partie inférieure de la colonne 3 n'étant plus ſoutenue, doit tomber par l'ouverture, & après elle toutes les autres qui ſont poſées deſſus. Cette colonne entiére gliſſera donc de haut en bas, entre la ſeconde & la quatriéme, qui ſont ſoutenues aux points *b* & *c*, & dont toutes les parties mobiles, ſur leur propre centre, deviennent autant de petits rouleaux qui facilitent ſa deſcente. Si la ſeconde & la premiére colonne d'une part, la quatriéme & la cinquiéme de l'autre part, étoient composées de parties liées & cohérentes, elles ſubſiſteroient de toute leur longueur, & par la chûte de la troiſiéme, il ſe feroit un vuide entr'elles. Mais comme ces particules ſont extrêmement

petites

petites, extrêmement mobiles les unes sur les autres, dès que le haut de la troisiéme colonne vient à descendre, & qu'elles cessent d'être soutenues en cet endroit, elles s'écroulent à proportion de l'écoulement; & de cette maniére la superficie de la masse totale baisse toute ensemble, quoiqu'il n'y ait qu'une des colonnes qui fournisse à l'écoulement par sa chûte.

VII. LEÇON.

Quand les parties ont une cohérence sensible, comme celles des liqueurs grasses ou visqueuses; ou que la masse du fluide qui s'écoule, a beaucoup de largeur par rapport à sa hauteur, on s'apperçoit assez bien du vuide que laisse au-dessus d'elle la colonne qui s'écoule; la superficie, au lieu d'être plane comme à l'ordinaire, est plus creuse dans le milieu, parce que les parties voisines n'arrivent point avec assez de vîtesse, pour remplacer celles qu'une pesanteur directe fait descendre.

APPLICATIONS.

On voit par l'explication que nous venons de donner, combien la flui-

VII. Leçon.

dité des corps apporte de changement aux effets de leur pesanteur. Si l'on tiroit avec un fil, ou qu'on poussât de bas en-haut le bouchon *B*, *Fig.*2. on n'auroit à soulever que le poids de la colonne dont il est la base, parce que cette portion d'eau étant indépendante du reste, peut se mouvoir librement dans la masse. Mais si cette masse venoit à se convertir en glace; par la seule raison qu'elle ne seroit plus liquide, & que ses parties seroient liées & cohérentes, la main qui soutiendroit la colonne qui répond au bouchon, dès l'instant de la congélation, auroit à porter tout ce qui est contenu dans le vaisseau.

Le frimas, la neige, & toutes les congélations aqueuses qui s'attachent aux arbres & aux plantes, les affaissent & les fatiguent bien davantage que l'eau qui les mouille, parce que les branches ont à porter non-seulement les parties humides qui les entourent, & qui sont adhérentes à leur écorce, mais encore celles que la gelée attache à celles-ci, & que leur propre poids feroit tomber de côté, si elles étoient fluides.

Ceux qui ont eu occasion de visiter les cavernes & les grottes naturelles qui se rencontrent en différens pays ont pû remarquer souvent certaines concrétions pierreuses qui se forment goutte à goutte, & qui pendent aux voûtes, à peu près comme les glaçons qu'un faux dégel fait naître au bord des toits, & de tous les endroits où il s'est fait quelque fonte un peu lente de la neige ou de la glace. Ces sortes de pierres que l'on nomme *stalactites*, sont originairement liquides comme l'eau qui en charrie les parties; la premiére goutte qui demeure suspendue à la voûte, n'a que l'adhérence qu'il lui faut, pour soutenir son propre poids; mais à mesure que son humidité s'évapore, elle devient solide, & capable d'en porter d'autres à qui la même chose arrive, de maniére qu'une masse assez considérable demeure suspendue malgré son poids, par la seule raison qu'elle est solide, & qu'une partie tient à la voûte.

Cette opération de la nature est imitée d'assez près par les ouvriers qui fabriquent la bougie & la chan-

VII. LEÇON.

delle ; les méches ſont enfilées parallélement ſur des baguettes , & on les plonge à pluſieurs repriſes dans des baquets qui contiennent le ſuif fondu, ou bien on fait couler par en-haut la cire toute chaude le long de la méche ; cette derniére pratique eſt ſurtout en uſage pour les cierges , qui doivent être plus gros par en-bas ; car on conçoit bien que la matiére en ſe refroidiſſant coule moins vîte vers la fin de ſa chûte & l'on a grand ſoin auſſi de ne la point employer trop chaude , afin qu'il en reſte davantage à chaque immerſion , ou chaque fois qu'on la verſe.

Ne quittons point cet article ſans obſerver un fait qui trouve encore ſon explication dans notre ſeconde propoſition. Les liqueurs ne touchent pas à la maniére des ſolides ; leur choc , à quantités égales de matiére, ne ſe fait pas ſentir de même ; en un mot , on craint la chûte d'un glaçon du poids d'une livre , & l'on n'appréhende point d'être bleſſé par une pareille quantité d'eau.

Indépendamment de ce que les liqueurs ſont diviſées en tombant par

des milieux résistans, & que leur superficie augmentée par cette division, retarde assez considérablement la vîtesse de leur chûte ; indépendamment, dis-je, de cette raison, les corps en cet état s'appliquent à une plus grande surface, & divisent leur effort total en une infinité de petites impressions peu sensibles. Supposons, par exemple, qu'on présente le plat de la main à la chûte d'une livre d'eau qui ait une figure sphérique ; on peut concevoir cette boule fluide comme un assemblage de petites colonnes, paralléles entre elles & à la direction de leur chûte commune ; la plus longue de toutes, à cause de la sphéricité de la masse, portera son effort seul au milieu de la main, & les autres, par la même raison, arriveront un peu plus tard, & frapperont les parties voisines, chacune en raison de sa masse particuliére : ainsi tout le coup sera partagé à toute la largeur de la main qui le reçoit. Mais si cette boule est de glace, ce ne sera pas la même chose, la main ne sera frappée qu'en un très-petit espace, qui recevra l'effort non-seulement de

VII. Leçon.

la colonne qui lui répond, mais encore de toutes les autres qui ſont unies à celles-ci, & qui exercent leur peſanteur en commun avec elle. Delà vient qu'un corps anguleux, ou pointu, fait plus de mal en tombant, qu'un autre qui ſeroit plat, parce que ſon effort eſt réuni ſur une plus petite place; & par la raiſon du contraire, on riſque moins de ſe bleſſer, quand on tient la main creuſe, pour recevoir une boule qui tombe, que lorſqu'on l'étend.

III. Proposition.

Les liqueurs exercent leur peſanteur en toutes ſortes de ſens.

C'eſt-à-dire, que non-ſeulement elles péſent de haut-en-bas, comme tous les autres corps, mais elles preſſent auſſi latéralement tous les obſtacles qui les retiennent; & elles tendent à s'élever de bas-en-haut, lorſqu'elles communiquent avec des quantités plus hautes, & par-là plus peſantes qu'elles.

On conçoit aiſément comment les liquides péſent de haut-en-bas, puiſqu'ils ſont compoſés de parties

qui participent à la gravité, qui est commune à tous les corps. Mais il n'est pas aussi facile de comprendre leur pression latérale. Cependant si l'on fait attention que leurs molécules sont dans le vase qui les contient, comme un amas de petits globules, on pourra bien imaginer qu'elles ne sont pas toutes arrangées réguliérement les unes sur les autres, comme dans la *Fig.* 3. mais que le plus souvent une colonne exerce sa pression entre deux autres, & tend à les écarter, comme on peut le voir en la *Fig.* 4. où la pression perpendiculaire, qui se fait vis-à-vis du point *d*, est transportée par les colonnes latérales vers les côtés *e*, *f*, du vase. De la même maniére, quand la colonne *d f* agit contre les deux parties *g*, *h*, la premiére fait une résistance suffisante à cause des parois du vase qui l'appuient: mais la partie *h* souffre un effort qui la souléve de bas-en-haut, & qui aura son effet, à moins qu'une colonne égale à *i k*, ou quelque chose d'équivalent, ne pése dessus pour la contenir.

Cette pression qui se communique

VII. LEÇON.

ainsi à la partie *h*, & qui tend à la soulever, a donné lieu à cette expression, *les liqueurs pésent de bas-en-haut;* mais ce seroit en abuser, & prendre de la pesanteur des liquides une idée très-fausse, si l'on prétendoit en effet qu'elles ont d'elles-mêmes une tendance à s'élever : une colonne de liqueur est portée de bas-en-haut, par la pression d'une autre qui s'exerce de haut-en-bas avec avantage, comme une livre de plomb au bras d'une balance, jusqu'à ce que toutes deux soient également élevées audessus de l'horizon. Venons maintenant à la preuve de notre proposition.

III. EXPERIENCE.

Preparation.

Dans un grand vase plein d'eau colorée, *Fig.* 5. on plonge successivement trois tubes de 6 à 7 lignes de diamétre, ouverts des deux bouts, mais dont on tient le haut bouché avec le pouce pendant le tems de l'immersion.

EFFETS.

Quand chacun de ces tubes eſt plongé, & qu'on le débouche par le haut en ôtant le pouce, l'eau s'éléve dedans à la même hauteur où elle eſt dans le grand vaſe, quelque figure qu'ait le tube.

EXPLICATIONS.

Le tube que l'on plonge perpendiculairement dans le vaſe, contient une colonne d'air qui remplit ſa capacité, & qui ne peut en ſortir, tant qu'on le tient bouché par en haut; car ce fluide étant plus léger que l'eau, ne peut plus ſortir par en-bas, dès que le bout du tube eſt plongé. Mais ſi-tôt que le pouce eſt ôté de deſſus l'orifice ſupérieur, & que l'air ceſſant d'être appuyé en cette partie, ne fait plus un obſtacle invincible à l'eau, elle y eſt portée par le poids de celle qui reſte dans le grand vaſe en la maniére qui ſuit.

Lorſque le tube *C* eſt plongé, l'eau par ſa peſanteur naturelle tombe de *D* en *E*, & coule d'*E* en *F*, parce qu'elle eſt compoſée de parties mo-

VII. LEÇON.

biles & roulantes, & que cette partie du tube forme un plan incliné. L'effet en demeureroit-là, s'il y avoit en *F* un obstacle invincible, ou que ce qui est contenu dans la sinuosité *EF*, ne pût s'y mouvoir facilement. Mais c'est un fluide pressé par la colonne *GD*, qui répond perpendiculairement à l'orifice du tube, & qui est continuée jusqu'en *E*; l'eau s'éléve donc dans la branche *CF*, non qu'elle ait une tendance réelle de bas-en-haut, mais parce qu'elle obéit au poids d'une colonne *G E*, qui pése de haut-en-bas; & elle continue de s'élever jusqu'en *C*, c'est-à-dire, à telle hauteur où elle est en équilibre avec *GE* qui la pousse.

En quelque endroit du vase que l'on plonge le tube *H*, son orifice inférieur, de quelque côté qu'il se présente, reçoit toujours un volume d'eau pressé latéralement par la colonne perpendiculaire à laquelle il répond, & qui porteroit son effort contre la paroi du vase, comme on le voit en *e* & en *f*, *Fig*. 4. ainsi l'eau étant poussée dans l'orifice *I*, avec une pression égale au poids de la co-

lonne *IK*, elle s'éléve à la même hauteur dans le tuyau, & de la même maniére que dans le précédent.

Enfin, si le tube n'est point recourbé, & qu'il se présente comme *LM*, dans l'instant où il est débouché par le haut, l'eau qui se présente à son orifice *M*, est dans le cas du globule *h*, *Fig.* 4. appuyée sur la colonne perpendiculaire *Mk*, par les colonnes latérales, *lo*, *lo*, qui ont leur point d'appui contre les parois du vase, & pressée par le poids des colonnes voisines *no*, *no*; elle est donc obligée de s'échapper par le tube où elle trouve moins de résistance, jusqu'à ce que son propre poids, augmentant avec sa hauteur, soit enfin égal à celui qui la force de monter.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

PQ, *Fig.* 2. sont deux viroles de la même largeur que celle qui est en *B*, & propres à recevoir le même bouchon; mais quand il est placé à l'une des trois viroles, il faut que les deux autres soient fortement bouchées.

VII. LEÇON.

Effets.

A telle virole que ſoit placé le bouchon mobile, il céde toujours à l'effort de l'eau que l'on verſe dans le vaſe, quand elle parvient à une même hauteur.

Explications.

Cette expérience prouve la même choſe, & s'explique de même que la précédente; l'effort que l'eau fait perpendiculairement, en peſant ſur le fond du vaſe, comme tout autre corps pourroit faire, ſe diſtribue contre les parois mêmes, & en toutes ſortes de ſens, à cauſe de la mobilité, de la figure & de la petiteſſe des parties; mais comme cet effort vient de la peſanteur, & que la direction naturelle de cette puiſſance eſt perpendiculaire au fond du vaiſſeau, le bouchon ne céde que quand la liqueur a une certaine hauteur, & la même quantité d'eau ne ſuffiroit pas, ſi le vaſe, étant plus large, tenoit la ſuperficie du fluide moins élevée.



APPLICATIONS.

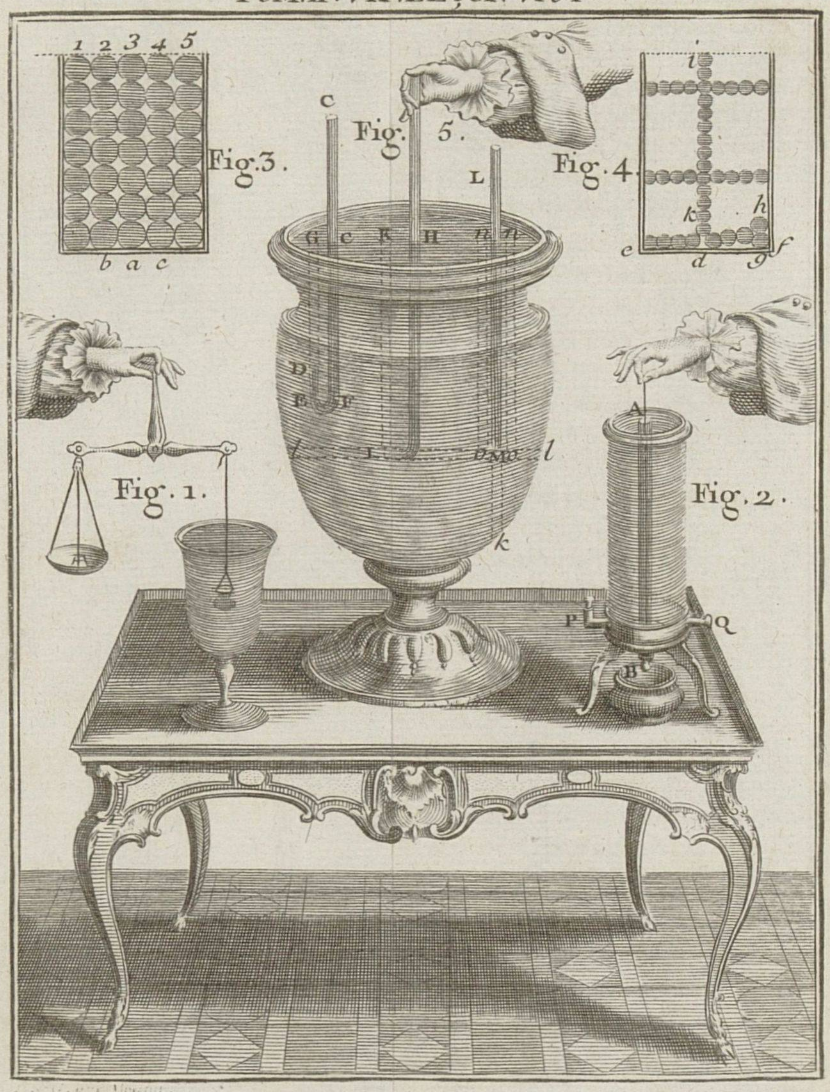
On rencontre à tout inſtant des preuves de la preſſion latérale des fluides : un pot, une bouteille inclinée, un tonneau que l'on met en perce, ne ſe vuideroient jamais, ſi la liqueur qu'ils contiennent, ne les preſſoit que de haut-en-bas, à la maniére des corps ſolides : un navire percé d'un coup de canon, fait eau par le côté, & riſque de ſe perdre, ſi l'on n'y met reméde, comme ſi le mal étoit au fond vers la quille ; & l'eau y entre avec d'autant plus de vîteſſe, que la mer a plus de hauteur au-deſſus du trou.

Quand on bâtit des digues, des réſervoirs, & autres ouvrages hydrauliques, on a grand ſoin de les proportionner aux efforts de l'eau. On a vû quelquefois des provinces ſubmergées, & quantité d'autres accidens funeſtes, parce qu'on n'avoit point oppoſé des réſiſtances ſuffiſantes à la preſſion latérale des eaux.

On doit porter ces ſortes de précautions juſques dans les travaux où les matiéres ſont tant ſoit peu flui-

des, ſoit par la petiteſſe de leurs parties, ſoit par leur peu de liaiſon; ſi, par exemple, on éléve une digue avec de la terre, ou avec du cailloutage; on la voit bien-tôt s'écrouler, ſi l'on ne donne à ſes côtés une pente ſuffiſante qu'on appelle *talus*; & les murs qui retiennent les terraſſes, ne réſiſtent à la pouſſée, que quand ils ont une ſolidité proportionnée à la hauteur & à la nature des terres.

Creuſer un puits, c'eſt former dans la terre un canal perpendiculaire à l'horizon. Ce canal eſt dans le cas du tuyau *LM*; s'il y a dans le voiſinage, des eaux dont la ſurface ſoit plus élevée que le fond du puits, elles doivent le remplir juſqu'à ce qu'il en contienne aſſez, pour leur faire équilibre. Il arrive ſouvent que l'on creuſe fort profondément, avant que de trouver une terre de nature à laiſſer paſſer l'eau; c'eſt comme ſi l'on enfonçoit beaucoup le tube, ſans ôter le pouce qui le bouche par en-haut: ſi on le débouche alors, les colonnes latérales étant fort longues & fort peſantes, chaſſent l'eau dans le tube avec précipitation; de même il eſt


1 2 3 4 5
Fig. 3.
b a c
Fig. 5.
Fig. 4.
Fig. 1.
Fig. 2.

arrivé ſouvent que des ouvriers ont été ſurpris par l'abondance de l'eau au fond d'un puits neuf, parce que la nature du terrein leur avoit fait chercher trop avant un paſſage à la ſource, & qu'il s'étoit trouvé tout-à-coup trop libre.

De ce qu'une liqueur peut être élevée de bas-en-haut par le poids des colonnes voiſines, il ſuit qu'on peut indifféremment remplir un vaiſſeau par le fond, s'il eſt percé, en le plongeant perpendiculairement, ou bien par ſon embouchure en l'inclinant; & ce choix eſt d'un avantage conſidérable en pluſieurs occaſions, je n'en citerai qu'une.

Pour tirer l'eau des puits qui ſont fort profonds, on ſe ſert quelquefois de deux ſeaux attachés aux deux bouts d'une même corde, qui embraſſe un tambour qu'on fait tourner, de maniere que l'un deſcend, pendant que l'autre monte; c'eſt, à mon avis, la meilleure machine connue qu'on puiſſe employer en pareil cas, c'eſt-à-dire, quand une grande profondeur rend l'application des pompes très-difficile; mais comme

VII. LEÇON.

ces ſeaux ſont ordinairement fort grands, & qu'on eſt ſouvent obligé de leur donner de la longueur aux dépens de la largeur, pour s'accommoder au diamétre du puits, on prend le parti de les emplir par le fond, & pour cet effet on y pratique une ou pluſieurs ſoupapes, qui laiſſent entrer l'eau, & qui ne lui permettent pas de retomber.

IV. PROPOSITION.

Toutes les parties d'une même liqueur ſont en équilibre entre elles, ſoit dans un ſeul vaiſſeau, ſoit dans pluſieurs qui communiquent enſemble.

Pour ôter toute équivoque, j'entends ici par le mot de *parties*, des volumes égaux & en tout ſemblables; car comme les molécules changent ſelon le dégré de liquidité, il pourroit ſe rencontrer des cas où la denſité ne ſeroit point uniforme dans toute la maſſe, & alors on devroit conſidérer la liqueur, comme s'il y en avoit pluſieurs mêlées enſemble.

En ſuppoſant donc toutes les parties parfaitement ſemblables, comme on a tout lieu de croire qu'elles le ſont dans

la

la plûpart des liqueurs, je dis qu'il y a équilibre entre elles, ou qu'elles se meuvent, jusqu'à ce qu'elles soient parvenues à cet état, parce qu'elles ont des forces égales ; car la force d'un corps qui tend à tomber, n'est autre chose que cette tendance, & sa quantité de matiére. Or la tendance à tomber est égale dans tous les corps, comme nous l'avons prouvé dans la Leçon précédente ; & dans toutes les parties d'une liqueur homogène, la masse est la même selon notre supposition ; ainsi les couches supérieures ne peuvent déplacer celles qui sont au-dessous, parce que celles-ci ont autant de force pour rester où elles sont, que celles-là peuvent en employer pour les déplacer.

Qui dit équilibre, dit repos ; cependant je ne prétends exclure ici d'autre mouvement que celui qui viendroit de la pesanteur plus grande d'une part que d'une autre. Plusieurs Physiciens prétendent que les parties des liquides se meuvent continuellement : s'ils entendent par ce mouvement celui que la chaleur entre-

VII. LEÇON.

tient dans tous les corps, il n'eſt guère poſſible de le leur conteſter; & nous ferons voir ailleurs qu'il eſt très-compatible avec l'équilibre dont il s'agit maintenant; mais ſi l'on veut que ce ſoit une qualité affectée aux liqueurs en tant que telles, j'avoue que je ne connois aucun phénoméne qui m'oblige à recevoir cette ſuppoſition; & je penſe qu'on ne doit pas, ſans de bonnes raiſons, ſuppoſer un mouvement actuel, où peut ſuffire une mobilité de parties inconteſtables. Paſſons aux preuves de notre propoſition.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un ſiphon renverſé, tel qu'il eſt repréſenté, par la *Fig.* 6. il faut verſer de l'eau colorée, du vin, ou du mercure, &c. & poſer le ſupport ſur un plan bien horizontal.

EFFETS.

La liqueur s'éléve également dans les deux branches en même tems.

EXPLICATIONS.

La partie inférieure du ſiphon étant pleine, s'il s'éléve dans l'une des deux branches une colonne de liqueur comme *AB*, ſon poids s'exerce ſur la partie *BC* qui eſt mobile, la ſollicite à s'élever dans l'autre branche, & cet effort eſt vaincu par le poids d'une colonne ſemblable *CD*; ainſi puiſque *CD* & *AB* qui ſont de même longueur, ſe ſoutiennent mutuellement, on peut conclure que les parties ſemblables d'une même liqueur ſont en équilibre entre elles.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Le canal *EF*, *Fig.* 7. par le moyen d'un robinet qui eſt au milieu, ouvre une communication entre le grand vaiſſeau *GH*, & le tuyau montant *EI*. Ce tuyau eſt ajuſté en *E*, de façon qu'on peut l'ôter, & mettre en ſa place un autre tuyau *K* qui s'éléve obliquement, ou *L* qui a pluſieurs ſinuoſités, & l'on emplit le grand vaſe juſqu'en *GH*, avec une liqueur colorée.

VII. LEÇON.

EFFETS.

Dès qu'on a tourné le robinet pour ouvrir la communication entre le grand vaiſſeau *G H*, & le tuyau montant *E I*, la liqueur s'éléve juſqu'en *I*; & cet effet eſt toujours le même, ſoit que le tuyau ſoit droit & perpendiculaire, ſoit qu'il ſoit oblique ou tortu.

EXPLICATIONS.

Quand on compare des liqueurs par rapport à leur poids dans des vaiſſeaux qui communiquent, ce ne ſont point les quantités contenues de part & d'autre qu'il faut comparer, mais les colonnes qui ſe touchent par leurs baſes au trou de communication. Dans notre expérience, par exemple, c'eſt le trou de la clef du robinet qui meſure la baſe de ces colonnes; or comme ce trou eſt commun aux deux, quelque quantité de liqueurs qu'il y ait dans le grand vaſe, il n'y a jamais qu'un filet capable de paſſer par ce trou, qui y exerce ſa preſſion : le reſte eſt porté tant ſur le fond, que ſur les parois inclinées du

vaſe ; il n'eſt donc point étonnant qu'une petite colonne d'eau contre-balance cette preſſion dans le tuyau, & ne s'éléve pas plus haut que la ſurface *G H. Fig.* 7.

Si le tuyau montant eſt incliné en un ſens commun *K*, ou en pluſieurs comme *L*, il faudra une plus grande quantité de liqueur pour faire équilibre à la preſſion qui vient du grand vaſe, parce que tous les corps qui péſent par des plans inclinés, perdent une partie de leur poids, & que le filet de liqueur qui péſe en *E*, eſt capable d'en porter un ſemblable à la hauteur *E I*, quelque chemin qu'il tienne.

APPLICATIONS.

Quand l'eau d'une riviére, d'un étang, d'un lac, &c. pénétre par ſon propre poids dans la terre, ſi les canaux qu'elle y trouve, ou qu'elle ſe pratique avec le tems, prennent une forme ſemblable à la *Figure* 6. quelque diſtance qu'il y ait entre *A D*, quelque diſpoſition que prenne le terrein entre *B C*, l'eau remonte auſſi haut que le lieu d'où elle eſt deſcen-

VII. LEÇON.

due. On ne doit donc pas regarder comme un phénoméne inexplicable, une source qui fait naître ou qui entretient une piéce d'eau considérable sur une montagne fort élevée; c'est qu'elle vient de quelque endroit encore plus haut; & quoiqu'on n'en connoisse point de tels à 40 ou 50 lieues de distance, ce n'est point une raison pour rejetter cette explication.

Si l'on a dessein de conduire l'eau par sa propre pesanteur, il ne faut pas, comme l'on voit, se flater d'y réussir, si le lieu où elle est, se trouve plus bas que celui où l'on veut qu'elle vienne; il ne suffiroit pas même que les deux lieux fussent de niveau, parce qu'il faut de la pente pour vaincre la résistance des frottemens. C'est pourquoi dans tous les aqueducs, dans les tuyaux de conduite, dans les canaux où l'on veut qu'il y ait écoulement, on donne ordinairement $\frac{1}{2}$ ligne d'inclinaison par toise.

On ne doit pas non plus désespérer de conduire l'eau où l'on veut, quoiqu'on soit obligé de la faire passer par des endroits beaucoup plus

bas que celui où l'on a deſſein qu'elle aille, pourvû que celui-ci ne ſoit pas auſſi élevé que la ſource d'où elle part. L'eau qui ſe diſtribue dans les jardins, dans les maiſons de Paris, & que l'on fait monter juſques dans les appartemens pour l'uſage des garderobes, vient par des tuyaux enterrés ſous le pavé des rues; mais cette eau qu'ils aménent arrive de quelque édifice public, des réſervoirs du Pont Notre Dame, de la Samaritaine, &c. qui ſont plus élevés que les lieux de ſa deſtination, ſoit par eux-mêmes, ſoit par la diſpoſition du terrein.

Tout le monde ſçait que la ſurface des liqueurs eſt un plan horizontal, quelque forme que puiſſe avoir le vaiſſeau qui les contient. C'eſt une ſuite néceſſaire de l'équilibre de leurs parties; car ſi les colonnes *GM*, *OP*, *HN*, *Fig.* 7. exercent l'une contre l'autre des preſſions égales à la hauteur *MN*, où elles rencontrent les parois du vaiſſeau, étant d'une même matiére, il faut qu'elles ayent à compter de-là, des volumes égaux, & par conſéquent que leurs extrémités d'en-

VII. LEÇON.

haut ſe trouvent dans la même ligne *GH.*

Mais ce plan que repréſente la ſuperficie des liqueurs, n'en eſt un que pour nos ſens. Car lorſque la ſurface des eaux a beaucoup d'étendue, par le même principe il eſt prouvé qu'elle eſt convexe, & l'expérience eſt parfaitement d'accord avec la théorie.

Il n'y a perſonne qui ait été dans un port, ou qui ait voyagé ſur mer, qui n'ait dû remarquer qu'on apperçoit les mâts d'un vaiſſeau qui aborde, avant qu'on puiſſe voir le corps du bâtiment; comme auſſi en approchant d'une ville, on découvre les clochers & les toits avant que d'appercevoir le rez-de-chauſſée des maiſons. C'eſt que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite, & que la convexité de la mer interrompt le rayon viſuel qui vient du corps du vaiſſeau à l'oeil du ſpectateur, à une diſtance où le rayon qui vient du mât eſt libre, comme on le peut voir par la *Figure* 8.

En effet, ſi les colonnes d'eau qui compoſent la mer en vertu de leur peſanteur égale, doivent avoir leurs

leurs extrémités ſupérieures *a*, *b*, *c*, égalem̧ent diſtantes du centre de la terre *d*, qui eſt le centre commun de tous les corps graves, elles ne peuvent pas ſe ranger dans un plan repréſenté par la ligne *ef*, il faut néceſſairement qu'elles composent une ſurface convexe, qui ait ſon centre en *d*, *Fig*. 9.

VII. LEÇON.

Enfin il ſuit encore de cet équilibre des parties d'une même liqueur, que de pluſieurs réſervoirs qui communiquent, il n'en faut voir qu'un pour juger à quelle hauteur eſt la liqueur dans les autres. Car quand on me cacheroit une des deux branches du ſiphon de la *Figure* 6. ou le grand vaiſſeau de la *Figure* 7. en conſéquence du principe établi, la liqueur élevée en *A* ou en *I*, m'apprendroit infailliblement qu'elle eſt à une ſemblable hauteur de l'autre part. Je ſçaurai donc combien il reſte de vin dans un tonneau, ſi je puis ſeulement joindre au robinet un tuyau montant comme *EI*, *Fig*. 7.

Non-ſeulement on peut connoître de cette maniére à quelle hauteur eſt une liqueur dans des vaiſſeaux opa-

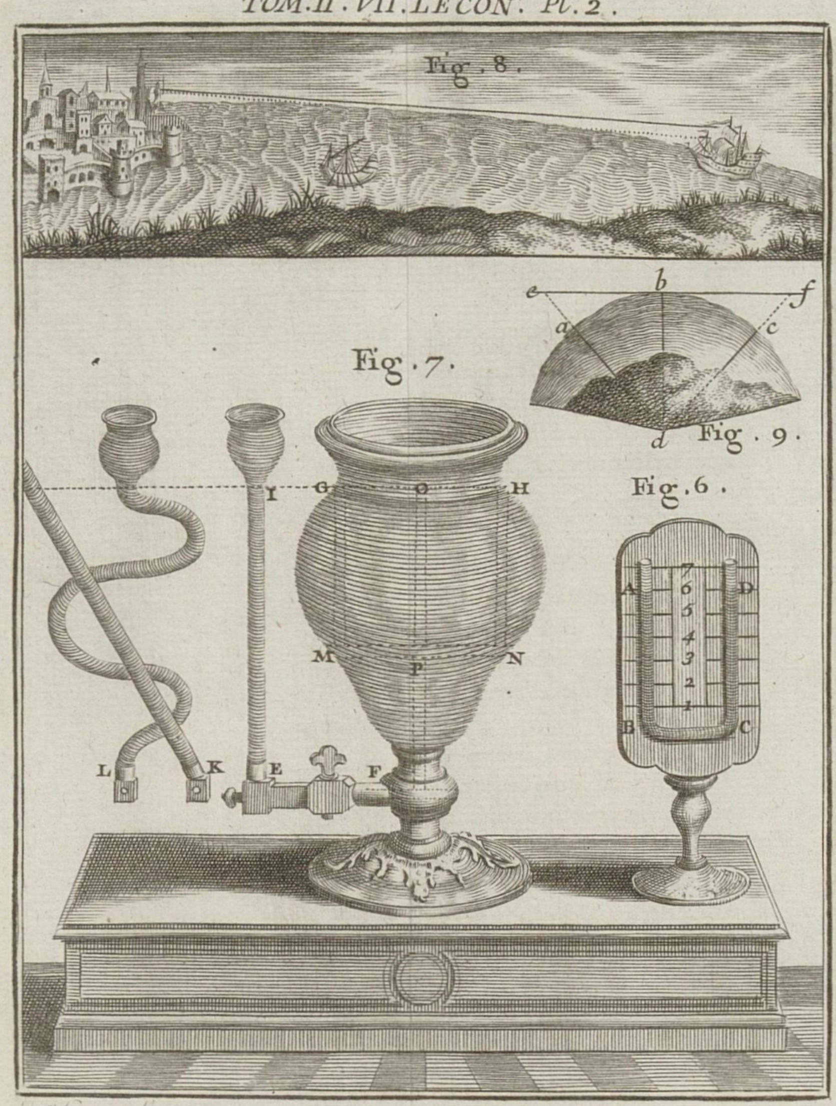
VII. LEÇON.

ques ou inaccessibles, mais on peut aussi s'en servir pour les emplir. Car si l'on verse de la liqueur dans le tuyau *I*, elle ne pourra s'y soutenir que par le contrepoids d'une colonne semblable dans le grand vase *G H*. Mais cette colonne ne peut s'y élever, & se soutenir toute seule ; à mesure qu'elle commencera, elle s'écroulera par son propre poids & par la fluidité de ses parties, & elle ne parviendra à la hauteur *O*, qu'autant que le vase s'emplira pour la soutenir latéralement.

V. PROPOSITION.

LES liqueurs exercent leur pression tant perpendiculaire que latérale, non en raison de leur quantité, mais en raison de leur hauteur au-dessus du plan horizontal, & de la largeur de la base qui les soutient.

C'est-à-dire, que si l'on conserve la hauteur & le fond du vaisseau toujours les mêmes, on pourra changer indifféremment sa forme & sa capacité ; de sorte qu'une certaine quantité d'eau, par exemple, pourra faire un effort 200 ou 300 fois plus ou


TOM. II. VII. LEÇON. Pl. 2.
Fig. 8.
Fig. 7.
Fig. 9.
Fig. 6.
e
b
f
a
c
d
G
O
H
I
M
P
N
L
K
E
F
A
D
B
C
7
6
5
4
3
2
1

moins grand, ſelon la maniére dont elle ſera employée : propoſition paradoxe, mais très-certaine, & d'autant plus importante, qu'elle influe ſur preſque toutes les machines hydrauliques.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur les deux petits côtés de la cuvette *AB*, *Fig.* 10. s'élévent deux montans *AC*, *BD*, creuſés par dedans en couliſſes, pour recevoir les deux pieds de la piéce *EF*, qui, par ce moyen, hauſſe & baiſſe, & ſe fixe où l'on veut avec les deux vis *C*, *D*. En *E* & en *F*, ſont deux petits piliers ouverts par le haut en fourchettes, pour recevoir deux léviers, *G*, *H*, terminés de part & d'autre par deux portions de poulies, dont les gorges ont pour centre celui du mouvement dans la fourchette.

Au fond de la cuvette eſt attaché un trépied de fer, qui porte un cylindre creux de métal *IK*, dans lequel gliſſe un piſton qui a peu de frottement. Ces deux piéces enſem-

VII. LEÇON.

ble ſont repréſentées par la *Figure* 11.

Le cylindre reçoit à vis pluſieurs vaiſſeaux de verre, repréſentés par les *Figures* 10. 12. & 13. garnis par le bas, d'une virole de cuivre, & par le haut, d'une large cuvette. La hauteur de tous ces vaiſſeaux eſt égale, mais leurs figures & capacités ſont, comme l'on voit, fort différentes.

Quand un de ces vaiſſeaux eſt adapté au cylindre, comme on le peut voir par la *Figure* 10. deux poids *L*, *M* qui tirent ſur les léviers, tendent à élever perpendiculairement le piſton, par le moyen d'une verge de métal *N*, & d'un double cordon attaché en *G* & en *H*, & qui traverſe une mortaiſe pratiquée à la piéce *E F*.

La *Figure* 14. repréſente une eſpéce de lanterne cubique de métal, garnie de glaces, à laquelle s'ajuſte le cylindre de la *Figure* 11. & quelqu'un des vaiſſeaux de verre dont nous avons parlé; au fond de la lanterne eſt fixée une poulie *O*, qui renvoie un bout de chaîne du piſton à la tige *N*, de ſorte que cette piéce étant placée ſur le trépied dans

là cuvette, le jeu des léviers fait mouvoir le piſton dans une direction horizontale. VII. LEÇON.

La cuvette *A B* eſt doublée de plomb ; les piéces qui ſont en fer, ſont vernies ; celles qui ſe joignent à vis, ont des anneaux de cuirs gras interpoſés ; le piſton eſt le plus libre qu'il eſt poſſible ; & les poids *L* & *M*, ſont deux petits ſeaux ou deux baſſins de balances, que l'on peut charger plus ou moins ; & l'on a pratiqué en *K* une eſpéce de robinet pour l'écoulement de l'eau.

EFFETS.

Si l'on remplit d'eau le vaiſſeau cylindrique, quand il eſt monté à la machine, comme on le voit par la *Figure* 10. & que les poids *L*, *M*, ſoient tels, qu'ils enlévent à peine le piſton ; le même effet ſubſiſte, quoiqu'on ſubſtitue à ce vaiſſeau ceux des *Figures* 12. & 13. dont les capacités ſont très-différentes.

Les mêmes poids ſont encore néceſſaires & ſuffiſans, ſi l'on place ſur le trépied les piéces qui ſont repréſentées par la *Figure* 14. & que l'on

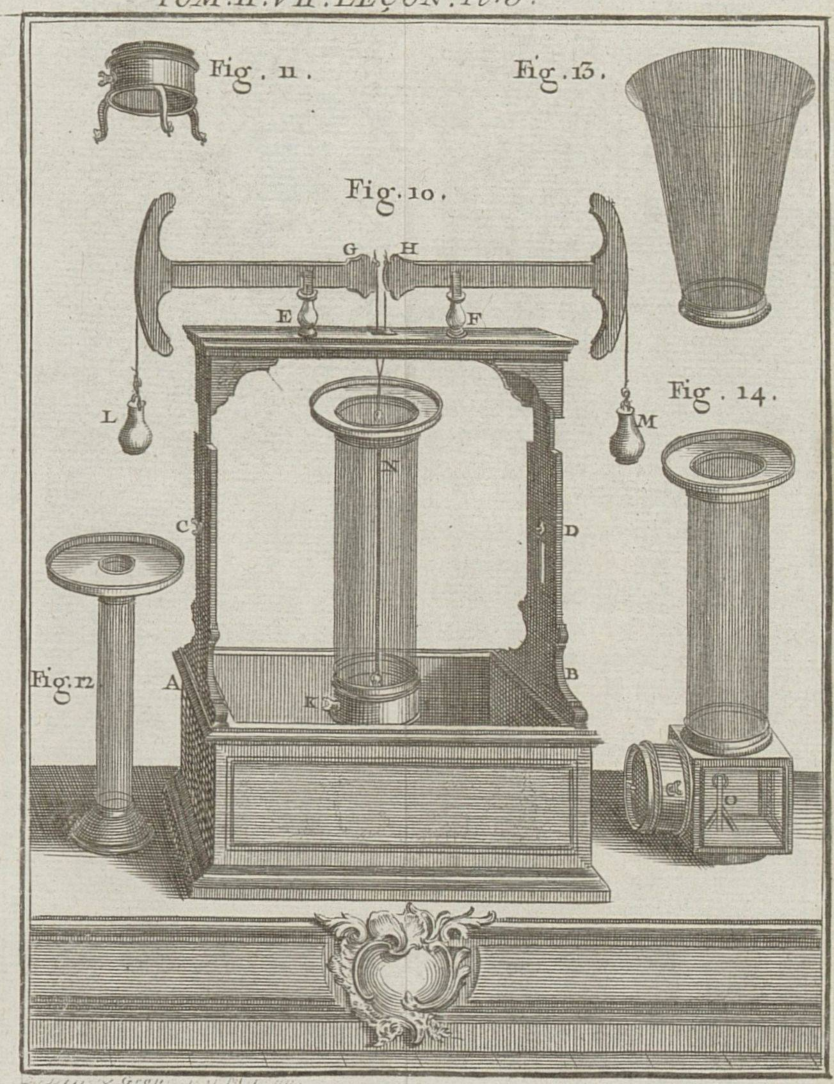
VII. LEÇON.

mette de l'eau à la même hauteur que dans les expériences précédentes, à compter du dessous de la petite poulie de renvoi O.

EXPLICATIONS.

Pour mouvoir le piston de bas en haut, il y a deux sortes de résistances à vaincre; sçavoir, celle de son frottement dans le cylindre, & celle du poids de l'eau. La premiére ne doit point varier, quand on fait les expériences de suite, puisque c'est le même piston & le même cylindre. Si l'on n'est point obligé d'augmenter, & qu'on ne puisse pas non plus diminuer les poids, lorsqu'on emploie le plus grand ou le plus petit des trois vaisseaux, pourvû que l'eau soit toujours à même hauteur; c'est donc que les liquides, comme nous l'avons énoncé dans notre proposition, ne pésent pas sur le fond de leur vase en raison de la quantité, mais sélon la largeur de ce fond, & leur hauteur perpendiculaire.

Et puisqu'il faut, pour tirer le piston horizontalement, autant de force que pour soulever la même quan-


Fig. 11.
Fig. 13.
Fig. 10.
G
H
E
F
L
M
Fig. 14.
N
C
D
Fig. 12.
A
B
K
O

tité d'eau dans une direction verticale, c'est une preuve que la pression latérale des liqueurs équivaut à celle qui se fait perpendiculairement à même hauteur.

Ces faits, tout surprenans qu'ils paroissent, sont incontestablement prouvés par les expériences que nous venons de rapporter ; mais ils ne sont point expliqués. S'il est utile de les sçavoir, il n'est pas moins curieux d'en connoître la cause ; & c'est pour tâcher de la dévoiler, que nous allons examiner comment la chose se passe dans chacun des vaisseaux : commençons par le plus simple.

La masse cylindrique d'eau qui est dans le vaisseau *I K N*, peut être considérée de deux maniéres, ou comme un faisceau de petites colonnes contenues sous une enveloppe commune, ou comme des tranches orbiculaires posées en pile les unes sur les autres : voyez la *Fig.* 15. de quelque façon qu'on la considère, il est évident que la base *a b* est chargée de la somme totale, ou des colonnes ou des tranches, & que si l'on connoît seulement le poids d'une

VII. LEÇON.

d'entre elles, on sçaura le poids de toute la masse, parce que la largeur de la base donne le nombre des colonnes, ou bien la hauteur de l'eau au-dessus de la base, détermine celui des tranches. D'où il suit que dans un vaisseau cylindrique posé perpendiculairement à l'horizon, les liqueurs, eû égard à la base, ne pésent pas autrement que les solides.

Dans le vase représenté par la *Fig.* 13. dont la coupe, selon l'axe, se voit en la *Fig.* 16. il est encore facile de voir que la base *c d* ne porte que les colonnes qui reposent perpendiculairement dessus, les autres étant soutenues par les parois, comme par des plans inclinés. Si *c d* est égal à *a b* de la *Fig.* 15. il est donc visible que ces deux bases sont également chargées. La fluidité fait ici quelque chose ; car c'est parce que la partie *c e f d* peut se mouvoir, & exercer sa pesanteur indépendamment du reste de la masse, qu'elle charge la base de son poids. Si cette masse totale étoit composée de tranches orbiculaires, mais solides, comme *g h*, *i k*, &c. il est aisé de voir qu'elle seroit

toute ſoutenue ſur les côtés du vaſe, & que le fond *c d* ne porteroit que la derniére tranche infiniment mince.

VII. LEÇON.

Enfin, comment ſe fait-il que la baſe du vaſe repréſenté par la *Fig.* 12. ſoit auſſi chargée que celle des deux autres? Puiſqu'il n'y a que la petite colonne *n n*, *Fig.* 17. qui ait toute ſa hauteur, les parties voiſines *o o*, doivent-elles être également comprimées ?

Que ces parties du vaſe ſoient preſſées, cela s'entend facilement, puiſqu'elles portent une partie du fluide qui eſt peſant, & nous avons expliqué par la *Fig.* 4. comment non-ſeulement celles-ci, mais encore toutes les autres *p p*, *q q*, *Fig.* 17. participent à cette preſſion ; mais qu'elles ſoient autant preſſées que la partie *n*, c'eſt ce qu'on a peine à concevoir. On voit bien en effet que la colonne *n n* doit communiquer ſa preſſion en *o* & en *q*, par les globules qu'elle tend à écarter ; mais comme la force avec laquelle elle agit ſur ces deux parties, a une direction oblique ſur l'une & ſur l'autre, & qu'une force qui s'exerce obliquement, n'eſt point égale à celle qui eſt directe, il ſemble que

VII. LEÇON.

la pression en *p* & en *q* ne peut jamais égaler celle qui se fait en *n*.

Il faut convenir aussi que cette égalité n'est pas démontrée à la rigueur ; mais l'expérience n'y laisse appercevoir aucune différence, & l'on concevra que celle qui peut y être, est infiniment petite, si l'on fait attention à ces deux choses : 1°. Que les molécules des corps liquides sont très-petites. 2°. Qu'elles ne se touchent point d'aussi près, que quand les causes de la liquidité viennent à cesser : avec ces deux principes, je crois qu'on peut rendre raison du fait en question. Car ces parties des liquides étant infiniment petites, quand bien même elles ne seroient qu'infiniment peu écartées les unes des autres, l'action d'une de ces particules poussée entre deux autres, devient infiniment peu oblique, c'est-à-dire, presque directe ; voyez la *Fig.* 18. Ce qui rend cette idée fort probable, c'est que la pression latérale, qui ne diffère pas sensiblement de la pression perpendiculaire dans les liqueurs, est notablement moins grande dans les fluides

grossiers, comme le sable, les menus grains, le plomb à giboyer, &c. & qu'elle diminue & cesse entiérement dans les matiéres qui passent de l'état de liqueur, à celui de corps solides. Ce qui n'arrive, sans doute, que parce que les parties se rapprochent, se pelotonnent en molécules plus grossiéres, & qu'au lieu de continuer d'agir les unes sur les autres, comme le globule 1 sur les deux qu'il touche, elles exercent une action plus oblique, comme le globule 2.

APPLICATIONS.

Les expériences que nous venons d'expliquer, nous conduisent naturellement à dire quelque chose des pompes; ce sont de toutes les machines hydrauliques, celles dont l'usage est le plus fréquent & le plus généralement utile: il est à propos d'en connoître au moins les principales parties, les principes sur lesquels on doit régler leurs dimensions, comment la force qu'on emploie, s'applique par leur moyen à vaincre la résistance du fluide qu'on éléve, afin de n'être

VII. LEÇON.

point la dupe de ſon imagination, ou des fauſſes promeſſes de certaines gens, dont le génie naturel n'eſt point aſſez éclairé par les lumiéres de la théorie.

Les principales parties des pompes, ſont pour l'ordinaire des cylindres creux *A B*, ou *CD*, *Fig.* 19. faits le plus ſouvent de métal ; des piſtons *E*, *F*, qu rempliſſent une portion du cylindre, & que l'on y fait mouvoir alternativement d'un bout à l'autre par le moyen d'une tige *G* ou *H*, au bout de laquelle on applique le moteur immédiatement, ou bien à l'aide d'un lévier *I*, ou de quelque autre machine ; des tuyaux montans comme *K*, *L*, pour conduire l'eau à la hauteur qu'on déſire ; & enfin des *valvules*, *ſoupapes*, ou *clapets*, qui laiſſent paſſer l'eau dans un ſens, & qui l'empêchent de revenir en ſens contraire, comme on le peut voir à chaque fonds des deux cylindres *B* ou *D*.

On peut diſtinguer en général deux ſortes de pompes, compoſées des parties que nous venons de nommer ; ſçavoir, celles qu'on appelle *aſ-*

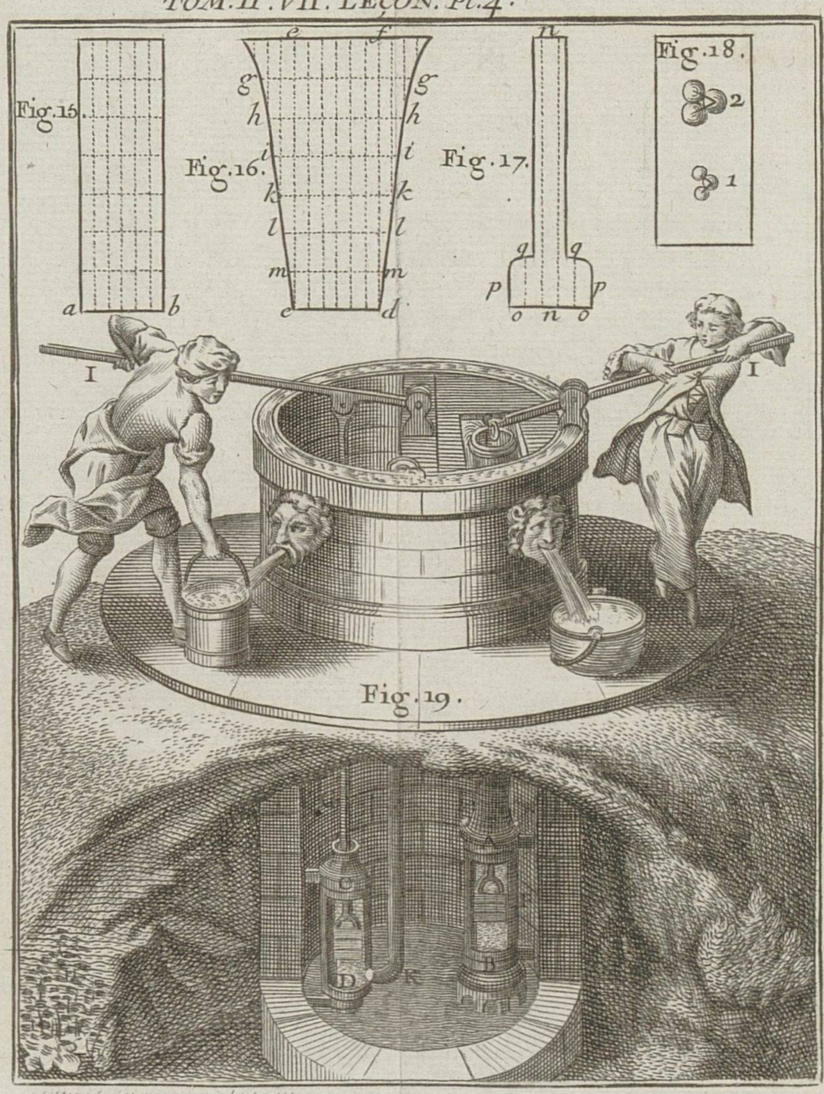
pirantes, & celles qui ſe nomment *foulantes* ; nous ne dirons rien ici des premiéres, parce que, pour les entendre, il faut connoître quelques propriétés de l'air, dont nous n'avons point encore parlé ; il ne s'agit donc maintenant que des derniéres, de celles où le piſton pouſſe immédiatement l'eau de haut en bas, ou de bas en haut.

VII. LEÇON.

Dans le cylindre *AB*, par exemple, lorſqu'on éléve le piſton de *B* vers *A*, il laiſſe un vuide entre lui & le fond de la pompe, & l'eau du baſſin dans lequel elle eſt plongée, s'y éléve par la preſſion des colonnes voiſines, comme dans les tuyaux de la *Fig*. 5. & par une autre cauſe, que nous ferons bien-tôt connoître ; lorſqu'enſuite on vient à baiſſer le piſton, l'eau retenue par un clapet qui eſt au fond du cylindre, paſſe à travers le corps même du piſton où l'on a pratiqué un canal, & un autre clapet en-deſſus, pour l'empêcher de retomber ; ainſi quand on éléve le piſton pour la ſeconde fois, le deſſous s'emplit de nouveau, & l'eau qui étoit paſſée au-deſſus, eſt portée plus

haut ; en continuant ainſi, l'on parvient à remplir le tuyau montant, & ce qu'on fait après, eſt autant d'eau dont on peut diſpoſer. Dans l'autre pompe *CD*, dont le corps eſt entiérement plongé, l'eau tombe d'elle-même, & paſſe à travers du piſton, pour remplir l'eſpace qu'il laiſſe vuide, quand on l'éléve ; & lorſqu'on vient à le preſſer en en-bas, le trou ſe bouche par un clapet qui eſt à ſa baſe, & l'eau eſt obligée de paſſer dans le tuyau *K*, d'où elle ne peut retomber parce qu'il y a en-bas une autre ſoupape qui la retient. En rëitérant donc les coups de piſton, ce tuyau montant ſe remplit, & fournit enſuite de l'eau à la hauteur où il finit.

Dans l'une & dans l'autre de ces deux machines, il eſt facile d'évaluer la réſiſtance qui vient du poids de l'eau qu'on éléve : car ſelon les principes établis ci-deſſus, & les expériences que nous avons employées pour les prouver, quelque forme que prenne la colonne du fluide, on aura ſa juſte valeur, en multipliant la largeur de ſa baſe qui eſt celle du piſton même, par la hauteur perpen-


Fig. 15.
a
b
e
f
g
h
i
k
l
m
c
d
Fig. 16.
Fig. 17.
n
q
p
o
Fig. 18.
2
1
I
Fig. 19.
C
A
D
K
B

diculaire du tuyau montant. Dans l'une de nos deux pompes la colonne d'eau repoſe ſur le piſton que l'on tire, dans l'autre elle réſiſte au piſton que l'on pouſſe, & c'eſt préciſément la même choſe, quant à la force qu'il faut employer. En ſuppoſant donc un piſton de telle largeur, que la colonne d'eau, dont il eſt la baſe, péſe 20 livres par pied, le tuyau montant, ne fût-il que d'un pouce de diamétre, s'il a 20 pieds de haut, la ſomme de la charge contre le piſton ſera 400, produit de 20 multiplié par 20, comme ſi la colonne d'eau étoit dans toute ſa longueur d'un diamétre égal à celui de ſa baſe.

On ne gagne donc rien, comme l'on voit, à faire des tuyaux menus pour conduire l'eau d'une pompe; on y perd au contraire par l'augmentation des frottemens; car nous avons fait voir dans la troiſiéme Leçon*, que cette eſpéce de réſiſtance, toutes choſes égales d'ailleurs, croît comme les ſurfaces, & que la ſuperficie intérieure d'un petit tuyau, par rapport à la ſolidité du contenu, excéde celle d'un plus gros.

* page 253.

VII. LEÇON.

Puisqu'une colonne de liqueur fort menue peut exercer une grande pression, lorsqu'elle aboutit à une large base, on ne doit pas s'étonner que quelques pintes d'eau fassent crever un tonneau plein, quand on les éléve perpendiculairement sur le trou de la bonde dans un tuyau fort long : car alors cette colonne ayant la largeur du tonneau pour base, elle a la même force, que si dans toute sa longueur elle avoit cette même largeur. Mais ceux qui seroient curieux de répéter cette expérience, doivent être avertis que les tonneaux ordinaires, dans lesquels on met le vin à Paris & aux environs, sont capables d'une résistance beaucoup plus grande qu'on ne le pourroit croire; 20 pieds de tuyaux ne m'ont quelquefois point réussi pour faire crever un demi-muid; le muid crève plutôt, parce qu'il fournit une plus large base.

Les écoulemens qui se font de vaisseaux percés au-dessous de la superficie de la liqueur à ouvertures égales, ont d'autant plus de vîtesse, que la liqueur est plus haute au-dessus du trou, parce que la partie du fluide qui

qui s'écoule actuellement, est pressée par le poids d'une colonne plus longue ; c'est pourquoi les jets d'eau s'élévent & dépensent d'autant plus, que leurs réservoirs sont plus hauts ; & la hauteur du jet diminue aussi à mesure que ces réservoirs se vuident. De-là vient encore qu'un vaisseau dont la capacité est uniforme, comme un cylindre, un prisme, &c. posé sur sa base, ne se vuide point également en tems égaux, si l'écoulement se fait par en-bas. Les quantités pour chaque tems vont en diminuant, comme la hauteur de la superficie du liquide qui s'écoule ; c'est par cette raison que dans les réservoirs publics, où l'eau se distribue selon les concessions faites aux particuliers, on doit avoir soin que le bassin d'où elle part, soit toujours également plein.

Avant que l'horlogerie fût aussi parfaite, & d'un usage aussi commun qu'elle l'est présentement, on étoit fort dans l'usage de mesurer le tems, par l'écoulement de quelque liqueur, ou de quelque fluide ; la *clepsydre* & le *sable* ne sont autre chose que des vaisseaux dont une partie se vuide d'eau,

VII. LEÇON. ou de quelque poudre fine, pendant un certain tems; mais ces ſortes d'inſtrumens ne peuvent jamais être bien parfaits, parce qu'en général la vîteſſe des écoulemens dépend non-ſeulement de la hauteur perpendiculaire du fluide, qui eſt ce que nous avons principalement en vûe ici, & qu'on peut aiſément meſurer, mais encore de la quantité des frottemens, du dégré de fluidité & de denſité, qui ſont variables, & qu'il eſt difficile d'évaluer.

II. SECTION.

De la peſanteur & de l'équilibre de pluſieurs Liqueurs, dont les denſités ſont différentes.

NOUS avons donné au commencement de la premiére Section une idée des liqueurs en général, en les repréſentant comme un amas de petits corps ſolides, très-durs, indépendans les uns des autres, peſans ſéparément & à proportion de leurs petites maſſes; tout ce que nous

avons à ajouter à cette description, pour faire entendre comment se comportent dans le même vaisseau deux liqueurs de densités différentes, c'est que ces petits corps qui les composent, sont eux-mêmes des assemblages de parties plus subtiles, fortement liées & adhérentes entre elles; la densité de ces petites masses étant plus ou moins grande, leurs figures & leurs grandeurs occasionnant plus ou moins de vuide dans leur assemblage, on conçoit bien qu'il en doit résulter des fluides ou des liqueurs plus ou moins denses.

Quand on compare plusieurs liqueurs par rapport à leurs poids, ou la comparaison se fait entre des volumes d'une grandeur sensible, comme lorsqu'on pése de l'eau contre de l'huile, ou contre du mercure, dans des vaisseaux séparés; ou bien ce sont les parties mêmes que l'on compare ensemble, comme lorsqu'on mêle de l'eau avec du vin, ou avec de l'air: de quelque façon que cela se fasse, la pesanteur exerce ses droits comme ailleurs; mais la fluidité donne lieu à des effets particuliers que nous allons examiner.

VII. LEÇON.

PREMIERE PROPOSITION.

La différence du poids, ou de la densité, suffit pour séparer les parties de deux liqueurs qu'on a mêlées ensemble, si d'autres causes plus fortes n'empêchent cet effet.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un vase de verre divisé en deux parties, qui communiquent par un petit canal d'une ligne & demie de diamétre, *Fig.* 20. il faut mettre d'abord du vin rouge jusqu'en *A*, & achever de l'emplir avec de l'eau, & l'exposer en quelque endroit où il ne soit point agité.

EFFETS.

De l'extrémité du canal *A* on voit aussi-tôt s'élever une petite colonne de vin, qui se répand ensuite sur la superficie de l'eau; & peu-à-peu tout le vin passe ainsi à la place de l'eau, & celle-ci à la place du vin.

EXPLICATIONS.

VII. LEÇON.

Les particules qui composent la masse d'eau, étant plus pesantes que celles du vin, font plus d'effort pour occuper le fond du vase, que celles-ci n'ont de force pour leur résister ; de-là il arrive qu'une colonne d'eau, capable d'occuper à-peu-près la moitié du canal *A*, prend son cours de haut en bas, & qu'une pareille quantité de vin s'éléve en même tems de bas en haut : & comme ces colonnes d'eau & de vin, à mesure qu'elles passent, se réparent continuellement aux dépens de la masse dont elles font partie, à cause de sa fluidité ; il arrive enfin que toute l'eau se trouve où étoit le vin avant l'expérience, & que le vin est obligé d'occuper la partie du vase la plus élevée : parce que deux corps ne peuvent pas être en même tems dans le même lieu, comme nous l'avons fait voir dans la troisiéme Leçon *, en parlant de l'impénétrabilité de la matiére.

* 3. *sect.* 71. & *s.*

VII. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La phiole cylindrique qui est représentée par la *Fig.* 21. contient 5 fluides différens ; sçavoir, 1. du mercure, 2. de l'huile de tartre, 3. de l'esprit-de-vin, 4. de l'esprit de térébenthine, 5. & de l'air.

EFFETS.

Quand le vase est en repos, toutes ces matiéres occupent les places qui conviennent à leur pesanteur spécifique ; c'est-à-dire, que le mercure se tient au fond, l'huile de tartre immédiatement au-dessus, après celle-ci l'esprit-de-vin, l'esprit de térébenthine ensuite, l'air au-dessus de tout ; & si l'on renverse plusieurs fois la phiole en l'agitant, dès qu'on la repose, chacune de ces liqueurs reprend sa place, mais le mercure & l'huile de tartre plus promptement que les autres.

EXPLICATIONS.

Ces cinq fluides different plus entre eux, que le vin & l'eau de l'expé-

rience précédente, non-ſeulement par leurs peſanteurs ſpécifiques, mais encore par leur nature ; ce qui fait, ſans doute, qu'en les agitant enſemble, ils ne ſe diviſent point, & ne ſe mêlent point autant que d'autres liqueurs qui ſeroient plus analogues ; c'eſt par la même raiſon, que le mercure & l'huile de tartre ſe démêlent plus vîte que les autres.

APPLICATIONS.

Les vaiſſeaux propres à exécuter ces ſortes d'expériences, peuvent recevoir différentes formes, & ſe diſpoſer de diverſes maniéres. On peut, par exemple, cacher la capacité inférieure, qui contient le vin de la premiére expérience, dans un petit piédeſtal, ou autrement, *B*, *Fig.* 20. en ne laiſſant ainſi appercevoir que la partie du vaſe où l'on met l'eau, il ſemble à ceux qui ne connoiſſent point ces effets, que l'eau ſe change en vin ; c'eſt ainſi que l'on trompe quelquefois les yeux par de petits artifices, qui perdent tout leur merveilleux, quand on en connoît les cauſes. Nous n'en parlons que pour ap-

VII. Leçon.

prendre à suspendre son jugement dans les choses que l'on ne conçoit pas d'abord, & à ne pas regarder comme surnaturels des effets qui surprennent, & dont la cause physique ne s'apperçoit pas.

Les matiéres grasses, animales, végétales ou minérales, étant pour l'ordinaire composées de molécules moins denses que celles de l'eau, s'en dégagent, lorsqu'elles y sont mêlées, & le plus souvent l'on n'emploie pas d'autre moyen, pour les en séparer, que de leur donner le tems de surnager; c'est ainsi qu'on sépare la crême du lait.

On remarque souvent à la superficie des eaux croupies des taches luisantes, qui font paroître des couleurs d'iris, quand on les regarde dans certains sens; ce sont des parties grasses, salines, ou sulfureuses, qui se sont élevées du fond, comme il arrive dans les terreins bitumineux; ou qui se sont démêlées de l'intérieur de l'eau, ce qui ne manque guère d'arriver dans les bassins où l'on va laver le linge. Mais si une goutte d'huile, une parcelle de graisse, s'éléve au-dessus

au-dessus de l'eau, la même chose doit arriver, & arrive en effet, quand il y en a une plus grande quantité : ainsi plus un animal est gras, toutes choses égales d'ailleurs, plus il a d'avantage pour nager. Un bœuf, ou un cochon, à cet égard, court donc moins de risque de se noyer, qu'un lévrier, ou tout autre animal maigre.

VII. LEÇON.

Nous pourrions encore citer ici pour exemple, l'ascension des vapeurs & des exhalaisons ; mais nous avons prévenu cette application, en faisant connoître dans la Leçon précédente, que la fumée & la flamme, suivant l'opinion commune, ne s'élévent dans l'air que par une légéreté respective, qui n'est, à proprement parler, qu'une moindre pesanteur, comme l'air s'éléve dans l'huile, l'huile dans l'eau, l'eau dans le mercure.

Quoiqu'une liqueur plus légère soit capable de s'élever au travers d'une liqueur plus pesante, il y a pourtant telle circonstance où cet effet n'a point lieu. L'eau & le vin, par exemple, que nous avons employés dans notre premiére expérience, ne se séparent point, quand on les a versés brusque-

ment l'un ſur l'autre. L'huile & l'eau battues enſemble avec l'air qui s'y mêle, perdent leur fluidité, le blanc d'œuf & la crême fouettée font la même choſe, & ces ſortes de mêlanges ſubſiſtent aſſez long-tems.

Tous ces exemples prouvent ſeulement, qu'il y a des cauſes qui s'oppoſent aux effets de la peſanteur dans la ſéparation des fluides mêlés, & que ces cauſes peuvent devenir prédominantes; mais elles ne détruiſent point notre propoſition. Il faut ſe ſouvenir ici de ce que nous avons dit des frottemens dans la troiſiéme Leçon. Cette ſorte de réſiſtance s'augmentant à meſure que les ſurfaces ſe multiplient, les liqueurs mêlées peuvent être diviſées en ſi petits volumes, que l'une touche l'autre par trop d'endroits, & que la différence de leurs peſanteurs, qui ſeroit la cauſe de leur déſunion, n'égale pas le frottement, ou (ce qui eſt la même choſe,) la difficulté qu'elles ont à ſe ſéparer. C'eſt par cette raiſon que le vin, preſque auſſi peſant que l'eau par lui-même, quand il eſt fort diviſé par une chûte trop bruſque, demeure dans l'eau, comme il

s'y trouve ; au lieu que si par la forme du vase, ou par la façon de le verser, on met en opposition des volumes plus considérables, & qui ayent moins de surface par rapport à leur solidité, il arrive le plus souvent que le frottement céde à la pesanteur de l'eau. C'est encore par la raison des frottemens augmentés par la division des parties, que l'huile & le vin deviennent *onguent*, que le blanc d'œuf, la crême, &c. demeurent en mousse ; car l'air y est si divisé, & son mêlange avec ces liquides est si intime, que sa légéreté ne suffit plus pour l'en dégager. Ajoutez à ces raisons deux autres causes qui rendent encore la séparation des parties difficiles ; c'est la viscosité qui est plus ou moins grande dans une matiére que dans une autre, mais dont aucune n'est parfaitement exempte ; & l'analogie qui se trouve souvent entre deux liqueurs & qui consiste vraisemblablement dans une certaine convenance de figures, de grandeur, ou de surface. L'esprit-de-vin mêlé avec l'eau ne s'en sépare plus ; & l'huile de térébenthine, qui n'est guère plus légére, ne fait pas la même chose,

VII. LEÇON.

II. PROPOSITION.

Plusieurs liqueurs ou plusieurs fluides, quoique de natures différentes, pésent les uns sur les autres en raison de leurs densités & de leur hauteur.

Cette proposition n'a besoin ni d'explication, ni de preuves ; car si toute liqueur est pesante, par la raison seule qu'elle est matiére, ajouter une liqueur sur une autre, c'est ajouter un poids à un autre poids, & quand l'un des deux seroit plus petit que l'autre, il n'a pas moins une valeur réelle qui doit être comptée dans la somme. Si l'on a dessein de charger le fond d'un vaisseau cylindrique de deux livres de liqueur, & qu'on commence par y verser une livre d'eau, on pourra certainement achever la charge avec de l'huile ; celle-ci étant moins pesante, il en faudra un plus grand volume, mais son poids ne contribuera pas moins à la pression qu'on s'est proposée.

III. PROPOSITION.

Deux liqueurs de densités différentes sont en équilibre, lorsqu'ayant la même

base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon sont en raison réciproque de leurs densités ou pesanteurs spécifiques.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

E C D, *Fig.* 22. est un siphon renversé, dans lequel on verse du mercure, jusqu'à ce que la surface de part & d'autre soit d'un demi-dégré plus élevée que la ligne *CD*; après quoi l'on verse de l'eau colorée dans la branche *CE*.

EFFETS.

Lorsque la colonne d'eau mesure 14 dégrés, le mercure se trouve d'un dégré plus élevé dans la branche *D*, que dans l'autre.

EXPLICATIONS.

Le mercure chargé d'un côté par la colonne d'eau, s'éléve dans l'autre branche jusqu'à ce qu'il soit en équilibre avec la liqueur qui le presse; quand il cesse de monter, sa hauteur au-dessus de son niveau égale la quatorziéme partie de celle de l'eau, &

VII. LEÇON.

l'on sçait d'ailleurs que le poids de l'eau est à celui du mercure, comme 1 est à 14; il est donc évident que les hauteurs de ces deux liqueurs en équilibre, sont en raison réciproque des densités, puisque l'eau se tient 14 fois aussi haute, comme le mercure est 14 fois aussi pesant.

Applications.

La proposition que nous venons de prouver, étant une fois reconnue pour vraie, il sera aisé de connoître le rapport de densités de plusieurs liqueurs, en comparant ainsi leurs hauteurs, lorsqu'elles seront en équilibre; car on conçoit bien qu'au lieu de mercure on pourroit mettre avec l'eau toute autre matiére liquide, comme de l'huile, de l'esprit-de-vin, &c. & qu'on jugeroit de même par leur hauteur au-dessus du niveau, de combien l'une seroit plus ou moins pesante que l'autre.

Comme on peut juger des densités par la comparaison des hauteurs, on pourroit aussi par l'élévation de la plus pesante des deux liqueurs, si l'on connoissoit les densités, estimer

la hauteur de la plus légère en tel cas où l'on ne pourroit la mesurer. Si, par exemple, un plongeur avoit au fond de l'eau un siphon renversé avec du mercure, sur lequel la pression de l'eau agit seule, & seulement par une des deux branches, dès qu'il verroit le mercure élevé d'un pied, il pourroit conclure en toute sûreté que la colonne d'eau qui presse, a 14 pieds de hauteur.

Nous sommes sur la terre comme les poissons qui rampent au fond de la mer, plongés dans un vaste fluide qui nous environne de toutes parts, & dont nous ne sçavons pas au juste la hauteur : accoutumés dès l'instant de notre naissance à la pression de l'air qui est égale & uniforme sur toute l'étendue de nos corps, nous ne la sentons point, parce qu'elle est continuelle; car sentir n'est autre chose que juger de notre état actuel, par comparaison à un autre qui a précédé : une sensation qui n'est jamais interrompue, à proprement parler, n'en est pas une. Aussi la connoissance de la pesanteur de l'air est-elle une découverte qui a encore tout le goût

VII. LEÇON.

de la nouveauté. Il y a à peine un ſiécle que l'on compte ſur la preſſion de ce fluide; avant ce tems-là bien loin de le croire peſant, pluſieurs Philoſophes l'avoient mis au rang des matiéres à qui ils attribuoient une légéreté abſolue.

Ce n'eſt pas que la nature n'eût parlé par des faits qui avoient fixé l'attention des Sçavans; mais ce qu'elle avoit dit avoit éte mal interprété. On avoit vû avec admiration l'eau s'élever au-deſſus de ſon niveau dans les pompes aſpirantes ; on avoit remarqué que le piſton d'une ſeringue ne pouvoit ſe tirer qu'à grande force, quand elle étoit bouchée par le bout. On voyoit avec ſurpriſe qu'un ſoufflet n'avoit ſon jeu libre, qu'autant qu'il étoit ouvert par ſon canon, que deux corps durs & polis comme le marbre, appliqués l'un à l'autre ſe ſéparoient très-difficilement, &c. « Mais » c'eſt, diſoit-on, que la nature a un » amour ſecret pour le plein; dès » qu'il y a quelque part défaut de ma- » tiére, elle s'empreſſe d'y en por- » ter; en un mot, *la nature abhorre* » *le vuide.* »

VII. LEÇON.

Ces mauvaiſes raiſons ſi peu reſpectables, mais pourtant trop reſpectées dans des tems où la raiſon cédoit à l'autorité d'un nom célébre, ont retardé long-tems les progrès de la Phyſique. Galilée ſe paya, comme les autres, de l'horreur du vuide, tant qu'il n'en vit point les bornes; mais s'étant aſſuré par des épreuves, que l'eau ne pouvoit monter qu'à trente-deux pieds dans les pompes aſpirantes, & que le reſte du tuyau, s'il étoit plus long, demeuroit vuide, il ſe révolta enfin contre cette maniére de philoſopher; & bien loin de penſer, comme auroit pû faire quelqu'autre, que l'horreur du vuide avoit ſes limites au-delà deſquelles elle ſe tournoit en indifférence, il commença à croire que ces ſortes de phénoménes avoient une cauſe phyſique bien différente de ce qu'on avoit imaginé juſqu'alors pour les expliquer. Ce qu'il avoit ſoupçonné, Toricelli, ſon Diſciple, le mit en évidence. Ce Philoſophe Italien fit voir le premier en 1643, qu'une colonne d'air priſe dans l'atmoſphère, ſe met en équilibre avec une colonne d'un autre

VII. LEÇON.

fluide qui a la même baſe. Cette expérience que nous allons répéter, prouva invinciblement la peſanteur de l'air, & reſtitua authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels que l'on avoit attribués juſqu'alors à une cauſe purement chimérique.

IV. PROPOSITION.

L'air eſt un fluide peſant, & qui exerce ſa preſſion dans tous les ſens à la maniére des liqueurs.

Quoique nous ayons réſolu de traiter à part des propriétés de l'air, nous avons cru qu'il étoit à propos de placer ici ce qui regarde ſa peſanteur, parce que c'eſt une dépendance de l'hydroſtatique. Ce que l'air opère en qualité de fluide peſant, il le fait en conſéquence des principes de cette ſcience, & nous ne faiſons mention de lui en particulier, que parce que ſa gravité eſt une des plus curieuſes & importantes découvertes que l'on ait faites dans ces derniers tems. Mais nous n'y parlerons que de ſa peſanteur relative, remettant à traiter avec ſes autres proprié-

tés de ſa peſanteur abſolue, en répétant les expériences qui la prouvent *à priori*.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On fait couler du mercure bien net dans un tube de verre qui a environ 3 pieds de longueur, & qui eſt fermé par un bout. Quand le tube eſt entiérement plein, on met le doigt deſſus l'orifice pour le boucher, & après l'avoir renverſé, on porte le bout qui eſt fermé avec le doigt, dans un vaſe qui contient du mercure, & l'on ôte le doigt. Voyez la *Figure* 23.

EFFETS.

Le tube ainſi plongé & ouvert par en-bas, ſe vuide en partie dans le vaſe; mais il y reſte une colonne de mercure qui a environ 27 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur.

EXPLICATIONS.

L'air étant une matiére, a, comme tous les autres corps, une gravité qui

VII. LEÇON.

a pour centre celui de la terre même; un corps grave, comme nous l'avons vu précédemment, agit par ſon poids ſur-tout ce qui s'oppoſe à ſa chûte, ou qui lui ſert de baſe; ainſi quand une colonne d'air de l'Atmoſphère repoſe ſur quelque corps, elle le comprime ſelon toute la valeur de ſon poids. La ſuperficie du mercure dans le vaſe de notre expérience, eſt donc comprimée par le poids d'une colonne d'air, dont elle eſt la baſe; lorſqu'on applique à quelque endroit de cette ſuperficie comprimée, un tuyau qui contient une colonne de mercure plus peſante que la colonne d'air dont ſa baſe occupe la place, elle s'enfonce, & s'abaiſſe juſqu'à ce que ſa hauteur diminuée, mette ſon poids en équilibre avec la preſſion qui s'exerce ſur toutes les parties ſemblables de la ſurface du mercure où le tube eſt plongé.

Cette expérience ſeule aux yeux d'un homme entêté de l'horreur du vuide, n'eût guère eu plus de force que l'obſervation de Galilée ſur l'impuiſſance des pompes aſpirantes au-

deſſus de 32 pieds ; il ſe ſeroit encore fait illuſion en limitant l'amour de la nature pour le plein ; mais quel ſubterfuge peut-il reſter, quand on compare l'un & l'autre fait ? Quand on voit que les colonnes de liqueurs élevées ainſi au-deſſus de leur niveau, diminuent comme leurs denſités augmentent ; quand on eſt aſſuré que la cauſe qui éléve l'eau à 32 pieds, ne peut ſoutenir le mercure qu'à 27 pouces $\frac{1}{2}$, & que l'on ſçait d'ailleurs que ces deux colonnes ſi différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'eſt-on pas forcé de reconnoître que la cauſe de leur ſuſpenſion n'eſt point une qualité abſtraite, puiſqu'elle ſe rapporte avec tant d'exactitude aux loix de la Statique ? En un mot, cet effet n'a-t-il pas tout l'air d'un équilibre ? C'eſt auſſi le jugement qu'en porta Toricelli, & qu'en porterent après lui la plûpart des Phyſiciens qui eurent connoiſſance de cette belle & curieuſe expérience. Mais perſonne ne contribua davantage à découvrir & à faire connoître la peſanteur de l'air, que M. Paſcal : il

VII. LEÇON.

avoit employé l'horreur du vuide, comme un langage reçu; mais il l'avoit fait, de même que Galilée, avec toute la répugnance que peut ſentir à s'exprimer obſcurément, un génie que la nature a formé pour ne recevoir & ne tranſmettre que des idées claires & diſtinctes. Il entra avec toute l'ardeur & la ſagacité dont il étoit capable, dans les vues de Toricelli; & tant par lui-même que par les ſoins de M. Perrier ſon beau-frere, qui étoit à Clermont en Auvergne, & qui pouvoit tirer avantage d'une haute montagne connue ſous le nom du *Puy de Dôme*, il mit dans la derniére évidence, ce que la colonne de mercure ſuſpendue au-deſſus de ſon réſervoir, indiquoit déja d'une maniére aſſez déciſive, à ceux qui avoient abjuré les qualités occultes, & qui ne vouloient plus admettre que des cauſes méchaniques pour expliquer les effets naturels.

Voici la méthode que ſuivit M. Paſcal, pour s'aſſurer ſi la ſuſpenſion des liqueurs au-deſſus de leur niveau dans les pompes aſpirantes, ou dans le tube de Toricelli, étoit

un fait d'équilibre, & si la puissance opposée au poids du mercure, étoit véritablement une colonne d'air prise dans l'atmosphère, comme il y avoit toute apparence. » Si l'air, dit-il, » est la cause de ce phénoméne, c'est » parce qu'il est pesant & fluide ; sa » pression doit donc se faire comme » celle des liqueurs; elle doit diminuer » ou augmenter selon sa hauteur; & » les colonnes de liqueur avec les- » quelles on le mettra en équilibre, » seront toujours plus ou moins lon- » gues, selon qu'elles seront plus ou » moins denses : voyons ce que dira » l'expérience. »

Quelque étendue que puisse avoir l'atmosphére au-dessus de la surface de la terre, on ne peut guère se dispenser de croire qu'elle forme autour du globe une enveloppe, dont la superficie est uniforme & sphérique, à peu près comme celle de l'eau paroît plane, quelque figure qu'ait le fond du vase qui la contient. Dans cette supposition, les colonnes d'air, à compter de l'extrémité de l'atmosphère jusqu'à l'endroit où elles rencontrent la terre, sont plus ou moins

VII. LEÇON.

longues, ſelon le moins ou le plus d'élévation du lieu où elles aboutiſſent; elles ont donc plus de longueur au bas d'une montagne, & elles en ont moins au ſommet; ſi l'air eſt peſant, ces colonnes dans un lieu bas, doivent faire une plus grande preſſion que dans un lieu plus élevé.

M. Perrier ayant remarqué à quelle hauteur étoit le mercure dans le tube de Toricelli, au pied du Puy de Dôme, trouva qu'il baiſſoit de plus en plus & conſtamment, à meſure qu'on s'avançoit vers le haut de la montagne, & qu'il remontoit au contraire, & ſuivant les mêmes proportions, à meſure qu'on deſcendoit vers la ville; & cette expérience imaginée par M. Paſcal, & réitérée pluſieurs fois ſelon ſes intentions, a toujours donné le même réſultat; on a donc conclu dès-lors que le mercure ſe ſoutenoit au-deſſus de ſon niveau dans le tube de Toricelli, par la preſſion de l'air ſur le réſervoir, parce qu'on voyoit baiſſer le mercure dans le tube, lorſque la colonne qui répondoit à ce réſervoir, devenoit moins longue.

Mais ſi la preſſion de l'air ſur le réſervoir

réservoir soutenoit 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans le tube, il falloit que cette colonne ainsi suspendue, ne fût aucunement soumise au poids de l'air par sa partie supérieure; car alors étant entre deux pressions égales, elle doit tomber à son niveau par son propre poids. C'est aussi ce qui arrive, si l'on ouvre le bout du tube par le moindre petit trou ; & pour faire voir par une même expérience qu'il est également nécessaire que l'air agisse sur la surface du réservoir, & qu'il n'agisse qu'en cet endroit, pour soutenir la colonne de mercure au-dessus de son niveau, M. Pascal imagina l'expérience qui suit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

FG, *Fig.* 24. est un tuyau de verre doublement recourbé en *H*, ayant environ 30 pouces de *G* en *K*, & autant de *H* en *F*. *K* est un petit canal ouvert qui communique avec l'intérieur du tube & que l'on bouche avec un morceau de vessie mouil-

VII. LEÇON.

lée. On emplit tout le tuyau de mercure, & on le plonge dans le réservoir comme celui de Toricelli.

EFFETS.

1°. Le mercure descend en *I*, & se fixe à 27 pouces $\frac{1}{2}$ ou environ au-dessus du niveau. 2°. Si l'on pique avec une épingle la vessie qui bouche l'orifice *K*, aussi-tôt l'air y entre, & le mercure contenu depuis *I* jusqu'en *G*, tombe dans le réservoir; & celui qui est contenu dans le tuyau *HF*, demeure suspendu à peu près à la hauteur de 27 pouces $\frac{1}{2}$.

EXPLICATIONS.

Il paroît par cette expérience, 1°. que l'air est la cause de ces deux effets, puisqu'ils n'ont lieu que quand on pique la vessie. 2°. Que l'élévation du mercure de G en *I*, est véritablement causée par la pression de l'air extérieur sur la surface du réservoir, puisque le mercure retombe aussi-tôt que cette pression est contrebalancée par l'introduction d'une colonne d'air en *K*. 3°. Que cette pression de l'air extérieur est bien

capable de soutenir le mercure à 27 pouces $\frac{1}{2}$, puisqu'elle le tient élevé à cette hauteur dans la partie *H F*.

VII. LEÇON.

Enfin, M. Pascal répéta l'expérience de Toricelli avec de l'eau, du vin, de l'huile, &c. & il parut par tous ses résultats, que c'étoit à la pression de l'air qu'on devoit attribuer la suspension de toutes ces liqueurs au-dessus de leur niveau, parce que leurs hauteurs étant toujours plus ou moins grandes dans les tubes, à proportion de leurs différentes densités, il étoit palpable qu'elles se mettoient en équilibre avec un poids qui étoit toujours le même à peu près; & comme il n'y avoit que l'air qui répondît à leur base, ce fluide s'annonçoit lui-même comme la vraie cause de cet effet.

APPLICATIONS.

L'expérience de Toricellli ne fut pas plutôt connue, que les Physiciens s'empresserent de la répéter, & d'en étudier toutes les circonstances; chacun d'eux avoit dans son cabinet la colonne de mercure suspendue, & la visitoit souvent. Un

VII. Leçon.

examen auſſi aſſidu ne devoit pas laiſſer ignorer long-tems les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube ; on s'en apperçut bien-tôt ; & nous voyons par des Lettres de M. Canut chargé des affaires du Roi de France en Suéde, que Deſcartes, Paſcal & Perrier, ne l'ont point ignoré, & que l'on a penſé dès ce tems-là à faire, au moyen de cette expérience, un nouvel inſtrument météorologique ; on l'a nommé depuis, *barométre*, ou *baroſcope*, c'eſt-à-dire, meſure ou obſervation de la peſanteur (de l'air.) En effet, puiſque c'eſt le poids de l'air qui ſoutient le mercure dans le tube, lorſqu'il monte plus haut, ou qu'il deſcend plus bas que 27 pouces $\frac{1}{2}$ ſa hauteur moyenne, n'a-t-on pas raiſon de conclure que la preſſion de l'air eſt augmentée ou diminuée ? & cette colonne de mercure qui hauſſe & baiſſe, n'eſt-elle pas une indication de la peſanteur actuelle de l'atmoſphère ?

Quand le barométre n'auroit que cet avantage, de nous avertir que

le fluide dans lequel nous vivons, agit plus ou moins fortement sur nos corps, il mériteroit déja d'occuper une place dans nos appartemens, par préférence à tant d'autres meubles superflus ou inutiles; mais il en a un autre qui le rend encore plus précieux, il annonce d'avance les changemens de tems, sur-tout quand ils doivent être considérables; & l'on doit convenir que ces sortes de prédictions sont importantes pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, & dans une infinité d'autres circonstances.

Cette propriété du barométre, est constatée par les observations de près d'un siécle, faites en différens pays, & par diverses personnes attentives & exactes: & sur-tout depuis l'établissement des Académies, nous avons des tables d'observations météorologiques, par lesquelles il paroît constant,

1°. Que la hauteur moyenne du mercure dans le barométre est de 27 pouces $\frac{1}{2}$ en France.

2°. Que le plus grand abaissement ne va pas tout-à-fait à 26 pou-

VII. LEÇON.

ces, ni la plus grande élévation à 29.

3°. Que vers l'Equateur, les variations sont moins grandes, & qu'elles le sont plus dans les climats septentrionaux.

4°. Que quand le mercure baisse dans le barométre au-dessous de 27 pouces $\frac{1}{2}$, il annonce de la pluie ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais tems.

5°. Qu'au contraire, quand il excéde sa hauteur moyenne, il annonce le calme, le sec, le beau tems.

6°. Que ces prédictions manquent quelquefois, sur-tout quand les variations de hauteur du mercure se font lentement, & en petite quantité.

7°. Qu'au contraire, elles sont presqu'infaillibles, quand le mercure monte ou descend d'une quantité considérable en peu de tems, comme, par exemple, de 3 ou 4 lignes en quelques heures.

8°. Qu'à Paris il est assez rare que les variations du barométre s'étendent plus loin que de 26 $\frac{3}{4}$ à 28 $\frac{1}{2}$ pouces.

Cette derniére obſervation a fait naître l'envie d'avoir des barométres dont les variations euſſent plus d'étendue, afin que les plus petites puſſent être obſervées ; de-là ſont venus les barométres à deux branches, qu'on a nommés *doubles* par cette raiſon ; les barométres coudés, les barométres raccourcis, &c. dont nous ne donnerons point ici la deſcription, parce qu'ils ſont aſſez connus, & que cette digreſſion nous éloigneroit trop de notre ſujet. Nous dirons ſeulement que de tous les moyens qu'on a imaginés juſqu'à préſent pour perfectionner le barométre, il n'y en a aucun qui ſoit aſſez avantageux, & qui n'ait trop d'inconvéniens pour mériter qu'on le préfére à celui de Toricelli, c'eſt-à-dire, à celui qu'on nomme communément barométre *ſimple*, & qu'on a repréſenté par la *Fig.* 25.

Mais ce dernier, tout ſimple qu'il eſt, doit être conſtruit avec des attentions que n'ont point ordinairement les Ouvriers qui les vendent. Il faut qu'il ſoit rempli d'un mercure parfaitement pur ; que le tube ait au

VII. LEÇON.

moins une ligne $\frac{1}{2}$ de diamétre intérieurement, que le verre en ſoit parfaitement net, & qu'il ne reſte aucune particule ſenſible d'air entre le mercure & lui. Il faut encore que le petit vaſe qui ſert de réſervoir au bas du tuyau, ſoit de telle largeur, que la ſurface du mercure qu'il contient, demeure ſenſiblement à la même hauteur pendant que celui du tuyau monte ou deſcend. On doit auſſi avoir attention que l'échelle de graduation ſoit bien exactement diviſée; car ce ſeroit un défaut conſidérable, s'il ſe trouvoit quelque ligne de mécompte ſur les 27 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur moyenne, ce qui n'eſt que trop poſſible, quand on ſe contente de coller ſur une planche une impreſſion toute diviſée, comme on fait le plus ſouvent.

Si les Phyſiciens conviennent entre eux, que le mercure du barométre eſt ſoutenu à ſa hauteur moyenne, par le poids de l'air de l'atmoſphère, ils ne ſont pas tout-à-fait d'accord ſur les variations qu'on y remarque. On ſçait bien qu'une plus grande élévation du mercure dénote une plus

grande

grande preſſion de la part de l'air ; mais par quelles raiſons l'air preſſe-t-il davantage dans un tems que dans un autre ? & quelle affinité y a-t-il entre cette preſſion plus ou moins grande, & le changement de tems qui n'arrive quelquefois que 10 ou 12 heures après ? c'eſt ce que nous examinerons ailleurs, quand nous aurons fait connoître plus amplement les propriétés de l'air, & les différens états de l'atmoſphère.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On applique à la ſuperficie d'un vaſe plein d'eau colorée, un tuyau de verre ouvert par les deux bouts, & l'on ſuce avec la bouche ou autrement, l'air qu'il contient, *CD*, *Fig.* 20.

EFFETS.

Dès que l'on ſuce l'air qui eſt dans le tube, l'eau y monte & le remplit.

EXPLICATIONS.

Puiſque l'air eſt un fluide univer-

VII. LEÇON.

ſellement répandu ſur tous les corps qui ſont à la ſurface de la terre, il faut concevoir l'eau de notre vaſe comme ayant deux ſortes de poids qui la font peſer ſur le fond ; ſçavoir, celui qui lui vient de ſa propre maſſe, & celui d'une colonne d'air qui répond à ſa ſurface, & qu'elle ſoutient. Car nous avons vû ci-deſſus que pluſieurs liqueurs l'une ſur l'autre, exercent leur peſanteur en commun ſur le même fond. Suppoſons maintenant que l'eau ſoit diviſée en un certain nombre de petites colonnes ſemblables à celle qui répond à l'orifice du tube ; chacune de ces colonnes répondra à une colonne d'air ſemblable en diamétre, & l'on pourra dire d'elle ce que nous venons de dire de la maſſe totale, qu'elle péſe ou qu'elle tend au fond du vaſe par elle-même, & par le poids de l'air qu'elle porte.

Tant qu'on ne ſuce pas l'air du tube ; toutes les extrémités de ces colonnes d'eau ſont dans le même plan, parce qu'étant également peſantes, & également chargées, il n'y a pas de raiſon qui oblige l'une ou


Fig. 21.
BAROM. Simple
Fig. 22.
Fig. 25.
Fig. 24.
Fig. 20.
Fig. 23.
A
B
C
D
E
F
G
H
K

l'autre à se tenir ou plus haute, ou plus basse que le reste; mais si l'une d'entre elles se trouve déchargée du poids de l'air qu'elle portoit, (& c'est l'en décharger que d'ôter l'air du tuyau de verre,) alors cette colonne doit s'élever au-dessus des autres, parce qu'elle n'est plus en état de leur faire équilibre. Et comme la fluidité de la masse ne permet pas que cette colonne ainsi élevée laisse aucun vuide dans le fond, elle se répare continuellement aux dépens des autres qui diminuent de longueur, & le vaisseau se vuide de cette maniére.

Si la pression de l'air sur la surface de l'eau étoit infinie, on pourroit ainsi avec un tuyau assez long élever l'eau, ou toute autre liqueur, à une hauteur non limitée. Mais si le poids de l'air n'a qu'une certaine valeur, quand l'eau sera parvenue à telle hauteur, où son propre poids sera égal à celui de l'air qui la souléve, on aura beau sucer celui du tuyau, la puissance de l'air extérieur épuisée, n'aura plus d'effet au-delà.

VII. Leçon.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Cette expérience se fait de même que la précédente ; mais on se sert de mercure au lieu d'eau, & le tube doit avoir au moins 30 pouces de longueur, & ne pas excéder une ligne de diamétre.

EFFETS.

Le mercure arrivé à 27 pouces $\frac{1}{2}$ ou environ de hauteur perpendiculaire au-dessus de la surface du réservoir, ne s'éléve pas davantage, quoiqu'on continue de sucer l'air du tuyau.

EXPLICATIONS.

Nous n'avons rien à ajouter à l'explication de l'expérience précédente, pour faire entendre celle-ci, sinon que, comme le mercure est beaucoup plus pesant que l'eau, la pesanteur de l'air extérieur qui sert à l'élever, se trouve en équilibre avec une colonne moins longue. S'il y avoit quelque fluide encore plus pesant que le mercure, on le verroit sans doute se fixer encore plus bas,

APPLICATIONS.

Vuider d'air un tuyau en le ſuçant avec la bouche, ou bien en traînant dedans, & de bas en haut, un bouchon bien exact, c'eſt la même choſe quant à l'effet qui doit s'enſuivre ; c'eſt toujours donner lieu à la preſſion de l'air qui répond au réſervoir, & cela ſuffit pour élever le fluide. C'eſt préciſément ce que l'on voit dans les ſeringues ou pompes aſpirantes ; car le piſton paſſant de bas en haut du cylindre creux qui le contient, ſouléve la colonne d'air qui péſe ſur ſon plan ſupérieur ; il ſe fait au-deſſous un vuide, où le poids de l'atmoſphère fait monter l'eau, comme dans le tuyau de l'expérience précédente. Voyez la *Fig.* 27.

Mais comme le poids de l'atmoſphère eſt limité, & qu'une colonne d'eau d'environ 32 pieds, lui fait équilibre dans nos climats, & dans les lieux qui ne ſont pas beaucoup élevés au-deſſus du niveau de la mer, on conçoit bien qu'une pompe, telle que celle dont nous parlons, & qu'on nomme *aſpirante*, ne peut point

VII. LEÇON.

élever l'eau à toute hauteur. Quand celle-ci ne suffit pas, on emploie celles dont nous avons parlé ci-dessus, & que nous avons appellées pompes foulantes. Comme dans ces derniéres la colonne d'eau qu'on éléve est immédiatement portée par le piston, & que ce piston est mené par une puissance que l'on peut augmenter autant que l'on veut, il est évident que l'ascension de l'eau n'est bornée à aucune hauteur.

Si les pompes foulantes ont l'avantage de porter l'eau à toutes sortes de hauteurs, elles n'ont pas celui de pouvoir être placées hors du puits ou du bassin d'où l'on veut tirer l'eau, comme les pompes aspirantes. Et c'est une incommodité très-grande de placer & d'entretenir ces sortes de machines dans des lieux fort profonds, souvent étroits, difficiles à épuiser, & assez ordinairement dans des pays où la disette d'ouvriers intelligens ajoute encore à la difficulté des réparations.

On évite ces inconveniens, & l'on jouit d'un double avantage, en construisant les pompes de maniére qu'el-

les soient en même tems aspirantes & foulantes, telles que celles qui sont représentées par la *Fig.* 28. Le piston aspire en montant, & foule en descendant. Le tuyau qui conduit l'eau de la source à la pompe, ne peut à la vérité avoir que 32 pieds tout au plus de hauteur perpendiculaire; mais cela suffit souvent pour placer la pompe dans un lieu commodément accessible ; & le tuyau montant, qui porte l'eau refoulée, peut avoir autant de longueur que la force motrice le permet.

Quand on emploie des pompes aspirantes, il faut avoir égard à la situation du lieu ; car puisqu'elles n'élévent les eaux qu'à l'aide de l'atmosphère qui pése sur la surface de la source, plus cette source est élevée au-dessus du niveau de la mer, moins la colonne d'air qui la presse est longue. J'ai porté un barométre au plus haut des Alpes *, & j'ai trouvé que le mercure s'y tenoit d'environ un quart moins haut qu'à Turin. Si j'y eusse porté une pompe aspirante , & que je l'eusse mise en jeu, elle ne m'auroit donc élévé l'eau tout au plus

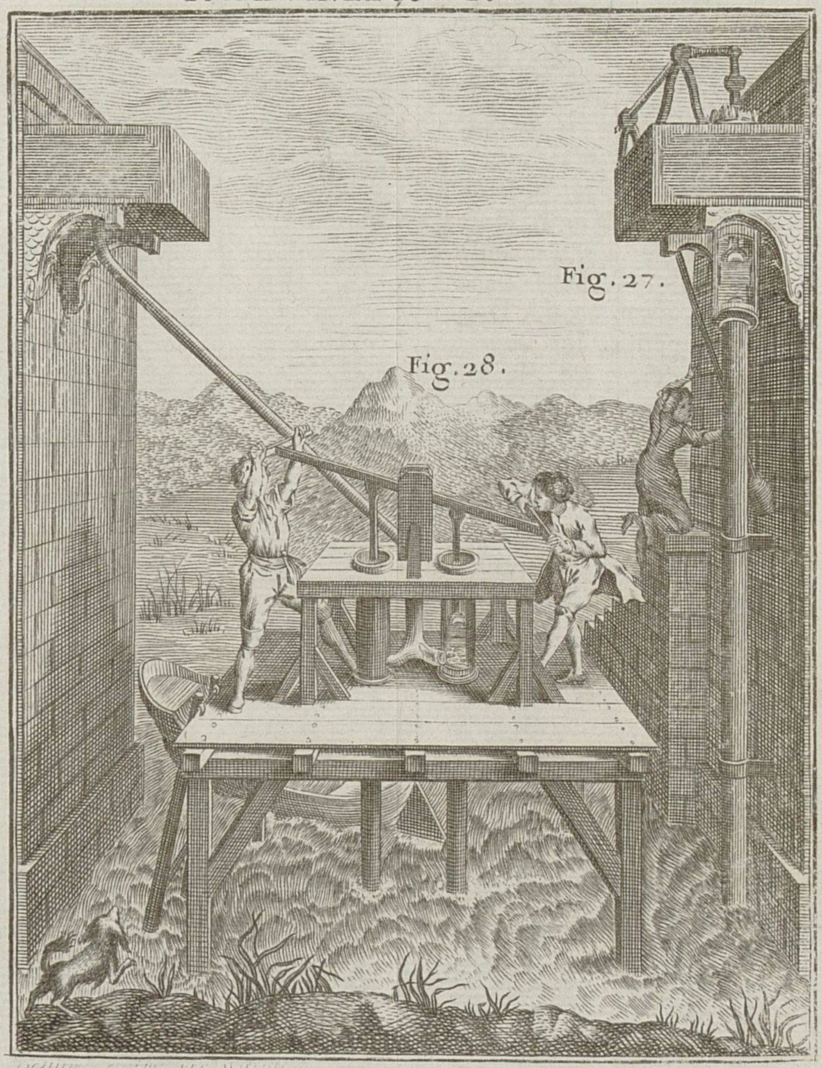
* *Le* 23. *Juill.* 1739.

VII. LEÇON.

qu'à 24 pieds ; & par la raiſon du contraire, dans les ſouterreins très-profonds on pourroit attendre du poids de l'air des effets plus grands que ceux qu'il opère ailleurs.

C'eſt par une méchanique aſſez ſemblable à celle des pompes aſpirantes, que les oiſeaux à longs becs, comme les hérons, les cicognes, les bécaſſes, &c. & la plûpart des quadrupédes, les chevaux, les vaches, les cerfs, &c. élévent l'eau dans leur eſtomac : ces animaux boivent en ſuçant ; & ſucer n'eſt autre choſe que raréfier l'air intérieur, en dilatant les capacités qui le contiennent, pour donner lieu à l'atmoſphère d'agir par ſa preſſion. La poitrine en s'élevant, ſemblable à un ſoufflet dont on écarte les panneaux, fait naître un nouveau vuide, que l'air du dehors va remplir ordinairement, (ce que l'on nomme *reſpirer ;*) mais ſi la bouche ſe trouve baignée ou remplie d'eau, quand ce dernier fluide ſeroit au-deſſous de l'eſtomac où ſe fait le vuide, il y eſt porté par le poids de l'air dont il eſt toujours chargé.

S'il reſtoit encore quelque incerti-


Fig. 27.
Fig. 28.

tude après les explications que nous venons de donner de l'aſpiration des pompes, & des autres effets de cette eſpéce, ſi l'on doutoit encore que la preſſion de l'air en fût la véritable cauſe, on pourroit achever de s'en convaincre par l'expérience que nous allons rapporter.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur la platine d'une machine pneumatique on place un petit gobelet qui contient du mercure : on le couvre d'un récipient ſurmonté d'une petite pompe aſpirante, dont le tuyau, qui eſt de verre, plonge dans le petit vaiſſeau, & l'on fait le vuide le plus parfait qu'il eſt poſſible. *Fig.* 29.

EFFETS.

Quand on léve le piſton de la petite pompe, on ſent une réſiſtance conſidérable, & le mercure ne s'éléve point dans le tuyau ; mais ſi l'air vient à rentrer dans le récipient, la pompe alors a ſon effet ordinaire.

VII. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Nous prétendons que l'action de l'air fait monter les fluides dans les pompes aspirantes ; on le supprime en évacuant le vaisseau sous lequel est placé le mercure, & la pompe n'a plus son effet. Il est donc prouvé que ce que l'on a supprimé (l'air & sa pression) est la vraie cause de cette ascension des liqueurs dans les pompes.

La difficulté qu'on éprouve en élevant le piston, quand le récipient est vuide, est encore une preuve du poids de l'air. Que la seringue aboutisse à un vaisseau vuide d'air, ou qu'elle soit bouchée par en-bas, c'est la même chose; tant que le piston pressé en sa partie supérieure par une colonne d'air qui pése de haut en-bas, l'est en même tems par une autre colonne du même air qui soutient sa partie inférieure, soit immédiatement, soit par l'interméde d'un autre fluide qu'il pousse, ce piston est en équilibre entre deux puissances égales, & pour le mouvoir on n'a que son frottement à vaincre; mais quand on sup-

prime la colonne d'air qui le ſoutient en-deſſous, on ne peut plus le tirer de bas en-haut, qu'on ne ſouléve l'air qu'il porte, & cet air eſt un cylindre qui a toute la hauteur de l'atmoſphére, & dont le piſton même eſt la baſe.

APPLICATIONS.

Qu'on ſe rappelle ici le moyen que nous avons employé dans la ſeconde Leçon *, pour forcer l'eau & le mercure de paſſer à travers des pores du bois & de la peau; & l'on concevra, par ce que nous venons de dire touchant la preſſion de l'air, pourquoi ces fluides ont pénétré à travers le fond de leur vaſe, lorſqu'on a fait le vuide dans les canons de verre ſur leſquels ils étoient établis. Car il eſt aiſé de comprendre qu'en ſupprimant, comme nous avons fait, l'air qui fait équilibre en-deſſous, à celui qui preſſe par-deſſus, celui-ci exerce tout ſon poids ſur la liqueur, & la force de paſſer.

* 1. & 2. *Expérience Tome I. page 83. & ſeqq.*

Un ſoufflet bouché de toutes parts n'a plus le mouvement libre; parce que, comme le piſton de la ſeringue de la derniére expérience, il porte une maſſe d'air conſidérable, à

quoi rien ne fait équilibre en-dedans.

VII. LEÇON. Par la même raiſon, la poitrine des animaux ne peut plus ſe dilater, comme elle a coutume de faire pour la reſpiration, dès qu'on ferme tout accès à l'air qui doit y entrer; & les Anatomiſtes conviennent que les animaux qui ſe noient, meurent moins de la quantité d'eau qu'ils avalent, que par l'interruption du mouvement néceſſaire pour reſpirer.

La peſanteur ou la preſſion latérale de l'air peut ſe prouver par l'expérience qui ſuit.

IX. EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut établir & fixer ſur la platine de la machine pneumatique, un petit moulinet que l'on couvre d'un récipient, percé par le côté & garni d'un petit bout de tuyau, que l'on tient bouché avec le doigt, pendant qu'on raréfie l'air d'un coup de piſton ſeulement. *Fig.* 30.

Effets.

Dès qu'on ôte le doigt pour laiſ-

ſer le canal ouvert, on entend un ſouffle, & l'on voit tourner le moulinet très-rapidement.

EXPLICATIONS.

Le ſouffle qu'on entend, ne peut point être attribué à autre choſe, qu'à l'air qui paſſe avec beaucoup de vîteſſe du dehors au-dedans du récipient, pour remplacer celui qu'on a pompé; & comme le canal qui lui donne paſſage eſt horizontal, on ne peut ſe diſpenſer de reconnoître que l'air, comme tous les autres fluides, exerce ſa peſanteur de côté, de même que de haut en bas.

APPLICATIONS.

Tout le monde ſçait qu'un tonneau plein & percé par le bas ſeulement, ne s'écoule point, à moins que le trou ne ſoit fort grand; c'eſt que l'air par ſon poids ſoutient la liqueur qui tend à ſortir, & qui péſe moins que lui, parce qu'elle n'a point une hauteur ſuffiſante : mais ſi l'on fait une ouverture à la partie ſupérieure du tonneau, l'air qui péſe ſur la liqueur par ce nouveau trou, fait autant d'ef-

VII. LEÇON.

fort pour la chaſſer de haut en-bas ; qu'une colonne d'air ſemblable en fait pour l'empêcher de ſortir par en-bas, & alors cette liqueur s'écoule par ſon propre poids. Cette explication peut ſervir à rendre raiſon d'un fait qui paroît d'abord aſſez ſingulier. On emplit d'eau un flacon, *Fig.* 31. percé en *A* d'un petit trou, que l'on tient bouché avec une boulette de cire ; à travers du bouchon qui ferme exactement l'orifice, paſſe un tube de verre *B*, qui eſt ouvert des deux bouts ; & l'on emplit d'eau le flacon & le tube. Si l'on débouche le trou qui eſt en *A*, l'eau s'écoule juſqu'à ce que le tube ſoit vuide ; & auſſi-tôt après elle s'arrête.

Ce qui eſt contenu dans le tube doit s'écouler par ſon propre poids, parce que l'air preſſe autant en *B*, qu'il réſiſte en *A* ; mais quand ce tube eſt entiérement vuidé, l'écoulement doit ceſſer : car l'eau qui eſt au-deſſous de *A C*, eſt retenue par ſon propre poids, comme elle l'eſt ordinairement dans une taſſe ; & celle qui eſt au-deſſus de cette ligne demeure ſuſpendue, non-ſeulement par la preſ-

ſion de l'air en *A*, mais encore par celle d'une colonne qui agit par *B* le long du tuyau.

Enfin tous les effets qui dépendent du poids de l'air, ſe font dans une chambre auſſi-bien qu'en dehors ; le barométre, par exemple, s'y tient auſſi haut, & les pompes élévent également l'eau dans des lieux couverts : ce qui prouve bien que les planchers ne bornent point la colonne d'air qui ſoutient le mercure ou les autres liqueurs, mais qu'elle emprunte ſon poids de l'atmoſphère avec qui elle communique, par les fenêtres ou par les portes.

Voici maintenant des preuves de la réſiſtance que l'air fait de bas en haut.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Rempliſſez d'eau le canon de verre repréſenté par la *Fig.* 32. couvrez-le d'un morceau de papier qui touche bien les bords ; mettez la main deſſus, & renverſez le vaiſſeau dans une ſituation perpendiculaire à l'horizon.

VII. LEÇON.

Effets.

Quand on ôte la main qui tient le morceau de papier appliqué à l'embouchure du vaſe, l'eau demeure conſtamment ſuſpendue, & le papier qui lui ſert de baſe y demeure appliqué.

Explications.

L'eau contenue dans le vaſe ne peut deſcendre & s'échapper, qu'en refoulant une colonne d'air *D E*, appuyée contre la terre ou contre le plancher ; mais cette colonne ne peut refluer latéralement, parce qu'elle eſt ſoutenue de tous côtés par l'atmoſphère même, dont le poids ſeroit capable de porter une maſſe d'eau qui auroit 32 pieds de hauteur ; ainſi la réſiſtance de la colonne *D E* étayée par les colonnes voiſines, eſt plus que ſuffiſante pour empêcher l'eau du vaiſſeau de tomber.

Le morceau de papier dans cette expérience ne ſert qu'à prévenir la diviſion des deux fluides, qui auroient peine à ſe contenir à cauſe de la grande différence de leurs denſités. Quand

l'air

l'air & l'eau ſe touchent par des baſes moins larges, cette précaution eſt inutile, comme on l'a pû remarquer dans les expériences précédentes.

VII. LEÇON.

APPLICATIONS.

On peut rappeller ici la fontaine intermittente, dont nous nous ſommes ſervis pour prouver la réſiſtance des corps par celle de l'air *; & l'on appercevra aiſément d'où lui vient l'intermittence de ſon écoulement. Car tant que le canal, qui porte l'air dans le réſervoir, eſt bouché par en-bas, l'air qui répond à l'orifice des petits canaux dirigés vers le baſſin, eſt plus fort qu'il ne faut pour arrêter la chûte de l'eau, dont le poids ne peut avoir ſon effet, que quand elle eſt entre deux airs d'égale force; & cela arrive toutes les fois que l'eau du baſſin étant écoulée, l'ouverture inférieure du canal reſte à découvert. Nous avons parlé auſſi au même endroit d'une eſpéce de pompe, ou de chalumeau renflé, en uſage dans les offices pour puiſer l'eau qu'on met rafraîchir dans des flacons d'étain. Les liqueurs demeurent encore ſuſ-

* *I. Leçon, Section 3. Exper. 2.*

VII. LEÇON.

pendues dans cet instrument, par la résistance que l'air fait de bas en-haut, & qui ne manque pas d'avoir son effet, quand on bouche avec le doigt l'orifice d'en-haut, pour empêcher que l'air qui y répond ne joigne son poids à celui de la liqueur.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

FGHI, *Fig.* 33. est un tuyau de verre recourbé, dont une jambe est plus longue que l'autre, & que l'on nomme un *siphon*: on plonge la jambe la plus courte dans un vase plein d'eau, & en appliquant en *I* la bouche, ou une petite pompe, on suce l'air qu'il contient.

EFFETS.

Par la suction que l'on fait en *I*, le siphon se remplit d'eau; & dès qu'on ôte la bouche, il se fait un écoulement qui continue, tant qu'il y a de l'eau dans le vase.

EXPLICATIONS.

L'eau du vase étant pressée en tou-

te sa surface, par le poids de l'atmosphère, doit s'échapper par l'endroit où elle cesse d'éprouver la même pression; c'est pourquoi elle remplit tout le siphon aussi-tôt qu'on en suce l'air, & qu'on suspend son action en *F*. Si les deux jambes étoient égales, comme *F G*, *G H*, après la suction il n'y auroit point d'écoulement, parce que la colonne d'air qui résisteroit en *H*, étant aussi haute que celle qui presse en *F*, lui feroit équilibre, & l'eau retomberoit de part & d'autre par son propre poids, ou demeureroit également suspendue dans toutes les deux. Mais lorsque l'une des deux jambes a son orifice au-dessous de la superficie du réservoir, comme *GI*, quoique la colonne d'air qui lui répond, soit plus longue que celle qui pése en *F*, elle n'est pas en état d'empêcher l'eau de couler.

Pour saisir la raison de ceci, il faut considérer la colonne totale d'air *I K* comme divisée en deux parties, dont une *K H*, fait équilibre à *L F*, & seroit capable d'arrêter l'eau, si le tuyau finissoit en *H*. L'eau qui remplit la partie *H I* du siphon, ne

VII. LEÇON.

trouve donc d'autre résistance en *I*, qu'une colonne d'air de même longueur qu'elle, & qui pése beaucoup moins. Cette portion d'eau s'écoule donc par l'excès de son poids : mais pendant qu'elle tombe, rien ne soutient celle qui est au-dessus ; c'est pourquoi elle est continuellement remplacée : ainsi l'écoulement a lieu, non parce que l'air ne résiste pas, mais parce qu'à hauteur égale, l'eau pése plus que lui. Et par cette derniére raison, la résistance de l'air en *I*, qui est toujours vaincue, l'est d'autant plus, que la partie *HI* du tuyau est plus longue ; la pression en *A* en devient d'autant plus forte, & c'est ce qui se voit évidemment par l'expérience suivante.

XII. EXPERIENCE.

Preparation.

AB, *Fig.* 34. est un gros tuyau de verre qui a environ 15 pouces de longueur, fermé en *B*, & garni en *A* d'une virole de métal, avec un fond auquel sont soudés deux tuyaux qui peuvent avoir intérieurement 2 lignes $\frac{1}{2}$ de diamétre. Le plus court

des deux, qui est coudé, s'éléve de 2 ou 3 pouces, en forme d'ajutage dans le gros canon ; l'autre qui est plus long, ouvert aussi des deux bouts, n'excéde point le fond auquel il est soudé ; mais il se divise en deux parties qui peuvent se séparer en *D*, & se rejoindre à vis. On renverse cet instrument pour y faire couler, par le plus long tuyau, quelques pouces d'eau ; ensuite on le remet dans sa situation naturelle, & dans le même instant on plonge la jambe coudée dans un pot plein d'eau.

EFFETS.

Aussi-tôt l'eau s'écoule par la jambe la plus longue, & l'on apperçoit un jet d'eau dans le gros canon ; mais ce jet s'éléve beaucoup plus haut, quand le tuyau par où se fait l'écoulement, est composé de ses deux parties, que lorsqu'on en retranche une.

EXPLICATIONS.

Les deux petits tuyaux, & le gros canon auquel ils aboutissent, doivent être considérés comme un siphon ; l'eau qui monte par la jambe

VII. LEÇON.

la plus courte, & qui s'élance par son extrémité, est élevée par le poids de l'air qui agit sur la surface du pot; & puisque cet élancement de l'eau est d'autant plus grand, que l'autre jambe est plus longue, c'est une marque certaine que la pression qui le cause, croît à proportion de cet allongement, comme nous l'avons dit ci-dessus.

APPLICATIONS.

Le siphon que nous venons d'employer, peut être fait de façon que le réservoir & les branches soient cachés dans un piedestal, ou autrement; & alors il fait voir un jet d'eau au-dessus de sa source. Voyez la *Fig.* 35.

En général les siphons sont fort en usage dans les celliers, dans les laboratoires de Chymie, dans les offices, &c. pour tirer les liqueurs à clair; comme cet instrument les puise par la superficie, & qu'on l'emploie sans être obligé de remuer les vaisseaux, c'est un moyen sûr pour tirer sans lie les vins, les ratafiats, &c.

La figure & la matiére du tuyau ne changent rien à l'effet du siphon.

S'il se trouve dans une montagne une veine de sable, qui ait la forme de cet instrument, & qu'elle soit renfermée dans de la glaise, ou dans quelque autre matiére moins propre à filtrer l'eau, ce siphon naturel épuisera une cavité remplie d'eau, à laquelle répondra sa jambe la plus courte ; & si les écoulemens qui fournissent au réservoir, se font plus lentement que son évacuation, l'extrémité de la jambe la plus longue sera une source ou une fontaine naturellement intermittente & périodique.

Le verre à siphon représenté par la *Fig. 36.* rendra cette idée sensible. Sa coupe que l'on remplit d'eau, peut représenter la cavité que nous supposons dans la montagne ; le tuyau recourbé, dont la jambe la plus longue passe à travers du pied, procure une évacuation qui commence dès que l'eau est parvenue en *E*, & qui, lorsqu'elle est finie, ne recommence que quand le verre a été rempli de nouveau.

Il faut convenir que pour tirer de cette expérience une explication complette des sources périodiques, on

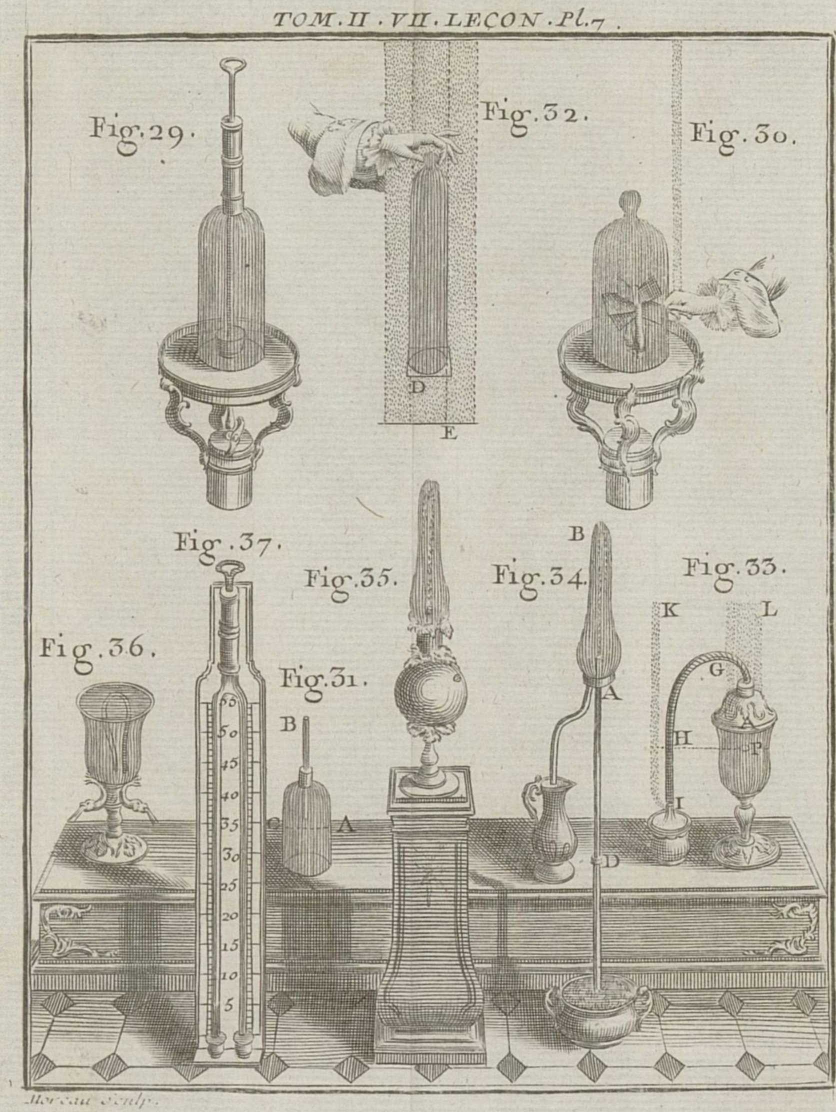
VII. Leçon.

doit ſuppoſer un épuiſement parfait dans la cavité qui ſert de réſervoir: car l'écoulement de notre verre à ſiphon, quand une fois il a commencé, ne finiroit point, ſi l'on avoit ſoin d'entretenir de l'eau dans le vaſe ; & l'on aura peine à concevoir que la ſource qui ſe fait au bout de la branche la plus longue du ſiphon, puiſſe avoir des intermittences, ſi les écoulemens qui fourniſſent de l'eau à la plus courte, n'en ont point. Mais ces ſortes d'effets naturels ont ordinairement pluſieurs cauſes à la fois ; & c'eſt toujours un avantage, que d'en pouvoir indiquer quelqu'une.

Comme les liqueurs doivent monter dans la jambe la plus courte du ſiphon, avant que de s'écouler par la plus longue, & qu'elles y ſont élevées par le poids de l'air qui agit ſur le réſervoir, on doit régler la hauteur de cette partie du tuyau, ſelon le poids actuel de l'atmoſphère, & la denſité de la liqueur qu'il doit contenir. Car, ſelon ce que nous avons enſeigné touchant les pompes aſpirantes, l'eau commune ne s'éléveroit point dans un ſiphon, paſſé 32 pieds

pieds, ni le mercure au-delà de 27 ou 28 pouces; encore ne faudroit-il pas que ce fût dans un lieu fort élevé au-dessus du niveau de la mer.

Cette réflexion m'a fait penser qu'on pourroit comparer facilement, & en peu de tems, les densités de deux liqueurs, par le moyen d'un siphon ouvert en sa courbure, & surmonté d'une petite pompe aspirante, comme il est représenté par la *Fig*. 37. Car cet instrument étant fixé sur une planche graduée par pouces & par lignes, si les branches sont plongées également dans deux gobelets, dont l'un, par exemple, contienne du mercure, & l'autre de l'eau, en raréfiant l'air des tuyaux par le moyen de la petite pompe, chaque liqueur obéira à la pression de l'air extérieur qui est commune à toutes les deux, selon le rapport de sa densité; si le mercure s'éléve d'un pouce, l'eau montera au quatorziéme. Mais si l'on faisoit usage de cet instrument, il faudroit que les tuyaux, de part & d'autre, eussent au moins 3 ou 4 lignes de diamétre intérieurement. On en verra la raison à la fin de la Leçon qui suit.



Moreau Sculp.



VIII. LEÇON.

Suite de l'Hydroſtatique.

III. SECTION.

De la peſanteur & de l'équilibre des Solides plongés dans les liqueurs.

Quand un corps ſolide eſt plongé, il occupe la place d'un volume de liqueur égal au ſien ; à moins que ce ne ſoit quelque matiére ſpongieuſe, qui admette une portion de la liqueur dans ſes pores, ou un corps diſſoluble, dont les parties déſunies peuvent ſe loger dans les pores mêmes du diſſolvant. Car dans ces deux cas, les volumes ou grandeurs apparentes, tant du ſolide que de la liqueur, ſe confondent un peu; & lorſqu'ils ſont mêlés, il arrive le plus ſouvent qu'ils occupent moins

VIII. LEÇON.

de place qu'il n'en falloit pour les contenir ſéparément : un vaſe, par exemple, dont la capacité égaleroit une pinte, ne ſeroit pas plein, ſi l'on y mettoit une chopine d'eau, & une pareille meſure de ſucre en poudre, ou de morceaux d'éponge. Nous n'avons pas maintenant ces ſortes d'effets en vue: nous conſidérons les corps plongés comme entiers & impénétrables aux fluides qui les reçoivent; telle eſt une bille d'ivoire que l'on fait deſcendre dans l'eau, & qui l'oblige de s'élever vers les bords du vaſe dans lequel elle eſt contenue.

Ce volume de liqueur déplacé par le corps plongé, ou la quantité qui s'éléve au-deſſus du plan dans lequel s'étoit fixée la ſurface de la liqueur avant l'immerſion, ce volume, dis-je, péſe plus ou moins ſelon ſa denſité; car les fluides, de même que les ſolides, diffèrent entre eux, par la quantité de matiére propre qu'ils renferment ſous un certain volume; & la même liqueur n'eſt pas toujours également denſe.

On peut faire ici deux ſuppoſitions: 1°. Que le volume de liqueur

en queſtion, égale en denſité, & par conſéquent en poids, le corps ſolide qui a pris ſa place : 2°. ou bien que l'un des deux péſe plus que l'autre. Nous appellerons *peſanteur reſpective*, la quantité dont le plus peſant ſurpaſſera le plus léger ; de ſorte que ſi un volume d'eau peſant une livre eſt déplacé par un ſolide qui péſe une livre & demie, la peſanteur reſpective de celui-ci ſera une demi-livre.

PREMIERE PROPOSITION.

Un corps ſolide entiérement plongé, eſt comprimé de tous côtés par la liqueur qui l'entoure ; & la preſſion qu'il éprouve, eſt d'autant plus grande, que la liqueur a plus de denſité, & qu'il eſt plus profondément plongé.

Nous avons fait voir dans la premiére Section de la Leçon précédente, que le poids des liqueurs s'exerce dans tous les ſens. Nous avons prouvé encore que cette preſſion croît en raiſon de la hauteur du liquide ; & enfin, dans la ſeconde Section il a été démontré qu'il y a équilibre entre deux liqueurs dont les

hauteurs ſont en raiſon réciproque de leurs denſités ou peſanteurs ſpécifiques. La propoſition que nous venons d'énoncer, n'eſt qu'une conſéquence de celles-ci : de la premiére, il ſuit qu'*un corps plongé eſt comprimé de toutes parts*. Il ſuit de la ſeconde, que *la preſſion qu'il éprouve, eſt d'autant plus grande, qu'il eſt plus profondément plongé*. Et de la troiſiéme enfin, il ſuit, qu'à profondeurs égales, *la charge eſt d'autant plus grande, que le fluide a plus de denſité ou de peſanteur ſpécifique.*

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 1. repréſente un grand vaſe de verre plein d'eau claire, dans laquelle on plonge une petite veſſie remplie d'eau colorée, & liée à un tube de verre qui eſt ouvert par les deux bouts.

EFFETS.

Quand la veſſie eſt entiérement plongée, l'eau colorée commence à monter dans le tube, & elle s'y éleve de plus en plus, à meſure que

l'on plonge plus avant, de maniére qu'elle eſt toujours auſſi haute que la ſuperficie de l'eau contenue dans le grand vaſe.

VIII. LEÇON.

EXPLICATIONS.

L'eau colorée qui s'éléve dans le tube pendant l'immerſion, prouve inconteſtablement que la veſſie eſt comprimée, & que ſa capacité eſt diminuée: quand on voit cet effet augmenter à meſure qu'on la plonge plus avant, on eſt forcé de reconnoître que la preſſion de l'eau qui en eſt la cauſe, augmente auſſi; & comment n'augmenteroit-elle pas, puiſque le corps plongé ſe trouve alors chargé de colonnes plus hautes, & qui ont toujours, à peu de choſe près, des baſes auſſi larges? Je dis à peu de choſe près; car la compreſſion diminue le volume total de la veſſie, & ſa ſurface n'eſt pas tout-à-fait auſſi grande au fond du vaſe, qu'elle l'eſt à fleur d'eau.

L'eau colorée s'éléve dans le tube à meſure qu'il s'avance vers le fond, mais jamais elle n'excéde la ſuperficie de l'eau du grand vaſe; parce que

les deux liqueurs étant de même densité, quand elles se mettent en équilibre, leurs hauteurs doivent être égales. Il n'en seroit pas de même, si la vessie, au lieu d'eau, contenoit de l'esprit-de-vin ou du mercure; le dernier de ces deux fluides se tiendroit beaucoup plus bas que l'eau du vase, & l'autre s'éleveroit un peu au-dessus.

Lorsqu'on se sert d'une vessie un peu grosse, on peut remarquer que, pendant qu'on la plonge, la compression n'est point égale de toutes parts, & qu'elle est plus pressée de bas en haut que latéralement; car sa figure change, & elle est un peu écrasée. Quoique la réfraction de la lumiére change l'image de l'objet en pareil cas, on doit convenir qu'il y a quelque réalité dans cette apparence, si l'on fait attention que la vessie plongée ne peut descendre, sans diviser l'eau, que cette eau qui résiste un peu à sa division occasionne une pression étrangère de haut en bas, & que de cette pression il doit naître un changement dans la figure du corps plongé à cause de sa flexibilité.

Applications.

Tous les animaux qui appartiennent à la terre, vivent ou dans l'air ou dans l'eau ; par conséquent chacun d'eux eſt expoſé à la preſſion d'un fluide qui l'environne de toutes parts, & dont la charge eſt conſidérable, eu égard à ſa hauteur. Une colonne de l'atmoſphère équivaut, comme nous l'avons vu précédemment, à une colonne d'eau de même baſe qui auroit 32 pieds de haut. Si c'eſt ſeulement un cylindre d'un pouce de diamétre, le poids en eſt aſſez conſidérable;mais combien compteroit-on de baſes ſemblables, ou de cercles d'un pouce de largeur ſur la ſurface entiére d'un homme? En appliquant le calcul à cette conſidération, on trouve qu'une perſonne de moyenne taille répond à une maſſe d'air qui excéde le poids de 20000.

Mais un poiſſon au fond d'une riviére ou d'un lac, ſupporte non-ſeulement la preſſion de l'air, comme les animaux terreſtres, mais encore celle de l'eau ; de ſorte que s'il eſt à 32

VIII. Leçon.

pieds de profondeur, il eſt chargé de deux fois le poids de l'atmoſphère. Quelle preſſion ſe feroit-il donc ſur un animal qui vivroit au fond de la mer?

Ces poids énormes appliqués continuellement à la ſurface des corps, ne les écraſent pas cependant, parce que, comme la veſſie de notre expérience, ils ſont ſoutenus intérieurement par un fluide qui eſt le même que celui qui les environne. Nous reſpirons le même air qui nous comprime au-dehors : & les poiſſons ſont dans un pareil cas à l'égard de l'eau: car s'ils reſpirent de l'air avec l'eau, cet air, avant qu'il paſſe dans leur corps, eſt en équilibre par ſon reſſort, avec la preſſion du fluide dont il eſt chargé. Le mouvement de la poitrine au tems de la reſpiration, n'eſt libre qu'autant qu'il y a équilibre entre l'air extérieur, & celui du dedans; tout accident qui rendroit celui-ci plus foible ou plus fort, feroit auſſi qu'on reſpireroit avec difficulté.

Non-ſeulement la preſſion extérieure des fluides ne dérange pas les corps ſur leſquels elle agit; mais elle

les conserve au contraire dans leur forme naturelle à cause de son égalité; elle contribue souvent à la cohérence de leurs parties, & elle arrête dans plusieurs les progrès de la fermentation ou de la corruption qui tend à les dissiper. Nous en pouvons trouver des preuves, sans sortir du genre animal. Lorsqu'on applique la ventouse, (opération souvent plus douloureuse que salutaire, & qui n'est plus guère d'usage en France,) il s'élève une tumeur à la partie charnue du corps sur laquelle on fait cesser la pression de l'air, en y appliquant une petite pompe, ou une petite cloche de verre, dans laquelle on allume un peu d'étoupes pour raréfier l'air. Cette élévation de la peau est causée par l'affluence du sang & des autres fluides, qui étant plus comprimés par-tout ailleurs, se portent à l'endroit où la pression est moindre.

C'est encore par une suspension du poids de l'air à peu près semblable, que les animaux nouveaux-nés tirent le lait des mammelles de leurs nourrices; toute la partie où la nature

a raſſemblé cet aliment liquide, étant comprimée comme le reſte du corps, excepté l'endroit qui eſt ſucé il ſe fait un écoulement, comme il arriveroit, ſi le mammelon reſtant expoſé à la preſſion de l'air, le reſte étoit plus comprimé que de coutume. Il eſt donc évident par ces exemples, que la preſſion égale des fluides ambians, & la réſiſtance qu'ils font intérieurement, contient les corps dans leur état naturel, & qu'elle eſt néceſſaire pour cet effet.

Il eſt à préſumer cependant que l'équilibre des deux preſſions tant intérieure qu'externe, ne ſuffiroit pas toujours pour conſerver l'œconomie animale en ſon entier. Il y auroit ſans doute tel dégré de compreſſion qui la dérangeroit. Suppoſons, par exemple, que la veſſie de notre expérience, au lieu d'être une membrane mince & ſolide, ſoit un tiſſu lâche & ſpongieux, il eſt certain qu'étant plongé fort avant dans l'eau, ſon épaiſſeur ſeroit fort preſſée de part & d'autre, que ſes fibres ſe rapprocheroient, & que l'ordre en ſeroit changé. De même un animal qui eſt

à ſon aiſe dans ſon élément naturel, y ſouffriroit, ſi la preſſion à laquelle il eſt accoutumé venoit à s'augmenter conſidérablement, quoiqu'elle s'accrût également tant au-dedans qu'au-dehors

Ne ſeroit-ce point là la principale raiſon qui empêche les plongeurs de reſter aſſez long-tems ſous l'eau, à de grandes profondeur? Car on les y deſcend dans une grande cloche pleine d'air, que l'on a même trouvé le moyen de renouveller, depuis qu'on s'eſt apperçu que cela étoit néceſſaire pour reſpirer ſans danger & librement. Cependant, malgré toutes les précautions qu'on a pû prendre juſqu'à préſent, il paroît qu'un homme qui s'expoſe dans cette machine, s'y trouve preſque toujours dans un état violent, & ſouvent on l'en a vu ſortir les yeux fort gros, & perdant du ſang par le nez ou par les oreilles, de maniére que cette invention éprouvée en différens pays, & de bien des façons, n'a point encore eu de grands ſuccès. C'eſt qu'il ne ſuffit pas de procurer au plongeur un air nouveau; il faudroit que cet air ne différât pas

VIII. LEÇON.

beaucoup de ſa denſité ordinaire ; & c'eſt ce qui ne paroît point praticable ſous un volume d'eau conſidérable, dont il doit néceſſairement ſupporter la preſſion. La plus belle épreuve de ce genre qui ait été faite, eſt celle de M. Halley, qui reſta ſous l'eau plus d'une heure, ſans en être incommodé; mais ſa cloche ne fut plongée qu'à une profondeur d'environ 54 pieds de France, ce qui ne ſeroit pas ſuffiſant dans bien des occaſions; d'ailleurs elle étoit fort grande ; & ſi cette condition étoit néceſſaire pour le ſuccès qu'elle eut, comme on le peut croire, on ne pourroit s'en ſervir que rarement, & dans des cas d'une grande importance, à cauſe des grands frais & des embarras qu'on ne peut éviter dans l'uſage d'une telle machine.

II. PROPOSITION.

Si le corps plongé eſt plus peſant que le volume de liqueur qu'il a déplacé, ſa peſanteur reſpective le fait tomber au fond du vaſe, s'il eſt libre de lui obéir.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

L'inſtrument repréſenté par la *Fig.* 2. eſt une balance hydroſtatique, qui a pour baſe une caiſſe doublée de plomb. Les trois vaiſſeaux de verre *A*, *B*, *C*, ſe montent à vis ſur leurs pieds qui ſont creux, & qui communiquent avec un canal caché ſous le couvercle de la caiſſe. Ce canal eſt garni de quatre robinets ; ſçavoir, deux à ſes extrémités, dont on voit les clefs en *D* & en *E*; & deux autres en *F*, & *G*. Ces deux derniers ouvrent des communications entre les trois vaſes, de ſorte que celui du milieu étant rempli d'eau ou de quelqu'autre liqueur, ceux des côtés enſemble, ou l'un ſans l'autre, peuvent s'emplir par le fond; les deux robinets *D*, *E*, ſervent à évacuer dans la caiſſe, les vaſes des côtés, & même celui du milieu, ſi les communications ſont ouvertes. Le chapiteau du grand vaſe porte un fléau de balance avec deux petits baſſins qui peuvent s'ôter, quand il le faut, & ſous leſ-

VIII. LEÇON.

quels sont deux petits crochets tournans *h*,*k*,ausquels on suspend les corps qu'on veut peser, dans les vases des côtés ausquels il répondent.

Cet instrument assorti de toutes les piéces qui en dépendent, s'emploie commodément, & sans causer aucunes saletés, pour faire toutes les expériences qui ont rapport à cette derniére partie de l'hydrostatique. Mais pour ne point répéter plusieurs fois la même figure, nous ne rapporterons pour chaque expérience que les choses nécessaires au fait dont il sera question, en supposant le reste, comme nous venons de le décrire.

Pour la preuve de notre seconde Proposition, le vase *B* étant presque plein d'eau, on y fait plonger une bille d'ivoire, suspendue par un fil au bras de la balance. Voyez la *Figure 2*.

EFFETS.

1°. Si l'on ne met rien dans le bassin opposé à celui qui tient la bille suspendue, cette bille ne manque pas de tomber au fond du vase.

2°. Si l'on charge le bassin opposé

pour tenir la bille en équilibre dans l'eau, le poids que l'on emploie est toujours beaucoup moindre que celui de la bille pesée dans l'air.

VIII. LEÇON.

EXPLICATIONS.

La bille d'ivoire de notre expérience, tient la place d'un volume d'eau, qui, s'il y étoit, seroit parfaitement en équilibre avec toutes les parties semblables de la même masse fluide, selon la quatriéme proposition de la premiére Section ; ce volume ne pourroit ni déplacer par son poids celui de dessous, ni être déplacé par celui de dessus, parce que celui-ci n'auroit pas plus de force que lui pour aller au fond, & que celui-là en auroit autant que lui pour résister à sa chûte ; mais lorsqu'en sa place il y a un corps plus dense ou plus pesant, le volume d'eau qui est dessous doit céder, non pas à tout son poids, mais à l'excès qu'il a sur lui ; c'est pourquoi, pour empêcher la bille plongée de tomber au fond, il n'est pas besoin de mettre dans le bassin opposé un poids qui soit égal au sien, mais seulement une quantité

VIII. LEÇON.

qui égale celle dont l'ivoire ſurpaſſe un pareil volume d'eau.

Il ne faut pas s'imaginer qu'un corps qui s'enfonce ſous l'eau, augmente en poids par l'accroiſſement de la colonne qu'il laiſſe au-deſſus de lui. Car le poids de cette colonne eſt toujours contrebalancé par la réſiſtance de celle qui eſt deſſous ; & cette réſiſtance eſt ſoutenue par la preſſion des colonnes voiſines, qui égalent en hauteur celle qui péſe ſur le corps plongé. Celui-ci eſt donc toujours en équilibre, eu égard aux deux preſſions de deſſus & de deſſous ; & s'il tombe, ce n'eſt que parce qu'il a, par une plus grande quantité de matiére, la force de déplacer continuellement une quantité de liqueur, qui ne lui eſt égale qu'en volume.

L'accélération qu'on remarque dans la chûte des graves, ne peut donc pas être attribuée, comme l'ont prétendu quelques Philoſophes, au fluide dont la hauteur s'augmente au-deſſus d'eux, à meſure qu'ils tombent ; d'ailleurs cet accroiſſement de hauteur de la part du fluide, ne ré-

pond point aux progrès de l'accélération des corps qui obéiſſent à leur peſanteur, ni à la nature de la gravité, qui affecte les corps en raiſon de leur maſſe, & non en raiſon de leur volume.

Consequence.

Il ſuit de la propoſition que nous venons de prouver, qu'un corps, tel qu'il ſoit, ne tombe ou ne tend jamais à tomber avec toute l'intenſité de ſa peſanteur abſolue ; car en quelque lieu que ſe faſſe ſa chûte, il eſt toujours plongé dans un milieu matériel, dont il déplace un volume ſemblable au ſien ; ainſi, comme à la bille de notre expérience, il ne lui reſte, pour ſe porter de haut en bas, que ſa peſanteur reſpective : les gouttes de pluie, les grains de grêle, les floccons de neige, ne deſcendent vers la ſurface de la terre, qu'autant qu'ils excédent en peſanteur la quantité d'air dont ils occupent la place. Comme l'air eſt un fluide fort léger, la peſanteur reſpective des corps qu'il environne de toutes parts, differe bien peu de leur peſanteur ab-

VIII. LEÇON.

ſolue ; on en apperçoit cependant la différence, lorſqu'on péſe un même corps ſucceſſivement dans l'air & dans le vuide, comme dans l'expérience ſuivante.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut diſpoſer dans un large récipient une balance fort exacte & fort mobile, de maniére qu'on puiſſe élever le fléau en tirant la tige 1. *Fig.* 3. Avant que de faire le vuide, il faut avoir mis en équilibre une petite balle de plomb d'une part, & de l'autre une groſſe boule de liége, & avoir ſoin que ces deux corps ne poſent ſur rien d'humide ou de gras qui puiſſe empêcher les effets naturels de la peſanteur, quand on léve la balance.

EFFETS.

La boule de liége qui étoit bien en équilibre dans l'air avec le plomb, ſe trouve plus peſante que lui dans le vuide.

EXPLICATIONS.

VIII. LEÇON.

La boule de liége dans l'air n'a que ſa peſanteur reſpective à oppoſer au plomb : dans le vuide elle jouit de ſa peſanteur abſolue, n'étant ſoutenue ſenſiblement par aucun fluide. Or la peſanteur abſolue eſt toujours plus grande que la peſanteur reſpective, puiſque celle-ci n'eſt qu'un reſtant de celle-là. On peut répondre que le plomb dans le vuide revient auſſi à ſa peſanteur abſolue; mais on verra bientôt, (& l'on pourroit déja l'entrevoir,) que quand les volumes en équilibre différent entre eux, comme ceux que nous avons employés, ce qu'ils reprennent de leur peſanteur, quand ils ceſſent d'être plongés, n'eſt point égal de part & d'autre.

APPLICATIONS.

Si l'immerſion réduit les corps à une peſanteur reſpective toujours moindre que leur peſanteur abſolue, les forces qui les ſoutiennent n'ont plus beſoin d'être auſſi grandes qu'elles devroient l'être, s'ils n'étoient point plongés. Auſſi s'apperçoit-on

VIII. LEÇON.

bien de cette différence, lorſqu'on tire hors de l'eau quelque maſſe d'un volume un peu conſidérable. Les pêcheurs qui ont fait un bon coup de filet, ne craignent de le rompre que quand ils l'enlévent de l'eau dans l'air; on ſauve ſans peine une perſonne qui eſt en danger de ſe noyer, quand on peut la ſaiſir par la partie la plus fragile de ſes vêtemens; pareil ſecours ne ſuffiroit pas à quelqu'un qui ſeroit prêt de tomber par une fenêtre : c'eſt qu'un homme dans l'eau, n'a quelquefois pas cinq ou ſix livres de peſanteur reſpective, & qu'il en a aſſez ſouvent plus de 130 dans l'air.

III. PROPOSITION.

Ce qu'un ſolide plongé perd de ſon poids, eſt égal à celui du volume de liqueur déplacé.

Nous avons vû par les preuves de la propoſition précédente, qu'un corps plongé perd une partie de ſon poids pendant l'immerſion; par celle-ci nous voulons faire connoître quelle eſt cette quantité de ſon poids qui lui manque, tant qu'il eſt plongé; & ſelon notre énoncé, ſi le volume de

liqueur déplacé péſe deux onces, & que le corps plongé en péſe quatre, celui-ci perd la moitié de ſon poids, & la force qu'on employera pour l'empêcher de tomber au fond du vaſe, n'aura plus que deux onces à ſoutenir.

IV. EXPERIENCE.

Preparation.

L, *Fig*. 2. eſt un petit cylindre ſolide de métal, capable de remplir exactement le petit vaiſſeau *M* ſous lequel il eſt ſuſpendu. On attache le tout, & on le met en équilibre avec le poids *N* au fléau de la balance, & l'on fait venir de l'eau dans le vaſe *A* juſqu'à ce que le petit cylindre ſoit entiérement plongé.

Effets.

Par l'immerſion du corps *L*, le poids *N* devient trop peſant, l'équilibre ceſſe; mais il ſe rétablit, dès qu'on emplit d'eau le petit vaſe *M*.

Explications.

Le petit cylindre, dès qu'il eſt

plongé, devient trop léger, parce que l'immerſion lui ôte une partie de ſon poids; mais comme cette quantité qui lui manque, eſt égale en peſanteur au volume d'eau déplacé, l'équilibre ſe rétablit, lorſqu'on charge le bras de la balance, d'une quantité d'eau qui a la même grandeur que le corps plongé. Cette propoſition que nous venons de prouver, a pluſieurs conſéquences que nous allons déduire.

PREMIERE CONSEQUENCE.

Puiſque le volume de liqueur déplacé, meſure la quantité que le corps plongé perd de ſon poids, il s'enſuit, qu'à quantités égales de matiére, plus les corps ſont grands, plus ils perdent de leur poids par l'immerſion. Une livre d'ivoire ſeroit donc plus ſoutenue dans l'eau qu'une livre de marbre; la peſanteur reſpective ſeroit différente de part & d'autre, quoique ces deux matiéres fuſſent plongées dans le même fluide.

V. EXPERIENCE.

V. EXPERIENCE.

VIII. LEÇON.

PREPARATION.

Mettez en équilibre au bras de la balance une bille d'ivoire, & une balle de plomb, & faites venir l'eau dans les deux vaſes auſquels répondent ces deux corps. *Fig.* 4.

EFFETS.

Dès qu'il y a aſſez d'eau dans les vaſes pour plonger les deux balles, le fléau de la balance ne peut plus demeurer dans une ſituation horiſontale, le plomb emporte l'ivoire.

EXPLICATIONS.

Chacun de ces deux corps perd une partie de ſon poids dans l'eau, mais ces quantités perdues ſont inégales entre elles ; car elles ſont proportionnelles aux volumes d'eau déplacés, & le plomb en déplace moins que l'ivoire ; celui-ci perd donc plus que l'autre de ſa premiére peſanteur ; ce qui rompt l'équilibre.

APPLICATIONS.

Le plomb, le fer fondu, le cuivre

VIII. LEÇON.

sont les matiéres dont on se sert communément pour faire des poids de balance. Ces métaux ont pour l'ordinaire beaucoup moins de volume que les corps avec lesquels on les met en équilibre; mais pour faire cet équilibre dans l'air où l'on pése toutes les marchandises, il faut suppléer par une plus grande quantité à l'inégalité de la perte que font deux corps pésés dans le même fluide, quand leurs grandeurs sont inégales; ainsi le Marchand donne plus d'une livre de plume, quand il la pése contre une livre de plomb : car ces deux matiéres dans l'air n'ont que leur pesanteur respective, c'est-à-dire, que ce fluide leur ôte une partie de leur pesanteur absolue, & il en ôte plus à celle des deux qui a le plus de volume ; de sorte que si l'on rapportoit la balance toute chargée dans le vuide, il faudroit nécessairement ôter de la plume, pour conserver l'équilibre. Il y a donc à gagner pour le Marchand, s'il réduit au plus petit volume qu'il est possible, ce qu'il vend au poids ; & si les matiéres précieuses, comme le diamant, se pesoient sous des volumes qui va-

fussent la peine d'y faire attention, on gagneroit plus à les vendre au poids de fer, qu'au poids d'or ou de plomb, sur-tout lorsque l'air dans lequel seroit la balance, deviendroit plus dense.

II. CONSEQUENCE.

Il suit encore de la troisiéme proposition, que plus le volume de liqueur déplacé est dense, plus le corps plongé est soutenu; ainsi la pesanteur respective d'un même corps après l'immersion, doit être d'autant plus grande, que la liqueur a moins de densité.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On tient en équilibre aux bras de la balance deux billes d'ivoire bien égales en grosseur; on emplit d'eau les deux vases ausquels elles répondent; ensuite l'un des deux ayant été vuidé, on substitue à l'eau qu'il contenoit, de l'eau-de-vie ou de l'esprit-de-vin. *Fig.* 5.

EFFETS.

1°. Tant que les deux vases sont

VIII. LEÇON.

pleins du même fluide, (d'air, ou d'eau,) l'équilibre subsiste entre les deux billes plongées.

2°. Lorsque l'une des deux billes plonge dans l'eau, & l'autre dans l'esprit-de-vin, ou dans l'eau-de-vie, celle-ci emporte la premiére.

EXPLICATIONS.

Les volumes de liqueurs déplacés étant mesurés par des corps d'égales grandeurs, & ces volumes étant pris dans la même liqueur, ils sont parfaitement semblables entre eux, eû égard à leurs quantités de matiére, & par conséquent ils résistent également aux corps plongés qu'ils ont à soutenir; & comme d'ailleurs ces deux billes ont des pesanteurs absolues fort égales entre elles, leur immersion dans la même eau ôte des quantités égales à des quantités égales, les restans sont égaux, & l'équilibre subsiste.

Mais quand l'une des deux billes est plongée dans une liqueur moins dense que l'eau, elle est moins soutenue, elle perd moins de son premier poids, sa pesanteur respective est plus

grande, elle l'emporte ſur l'autre. VIII. Leçon.

III. Consequence.

Comme la denſité eſt plus ou moins grande, non-ſeulement dans différens fluides, mais qu'elle peut auſſi varier dans le même par le froid, par le chaud, ou autrement, & que les ſolides que l'on plonge, ſont ſuſceptibles des mêmes variations, il peut arriver que la peſanteur reſpective d'un même corps varie, quoique dans la même liqueur.

VII. EXPÉRIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 6. repréſente une fiole de verre pleine d'eſprit-de-vin, & dans laquelle on a renfermé une petite figure d'émail, qui ſe tient pour l'ordinaire en haut, parce qu'elle eſt plus légère qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle elle eſt : la fiole aboutit à un bain-marie qu'on fait chauffer par le moyen d'une petite lampe qu'on allume deſſous.

VIII. Leçon.

Effets.

Quand l'esprit-de-vin a reçu un certain dégré de chaleur, on voit descendre la petite figure au fond de la fiole ; & elle remonte, lorsque la liqueur est refroidie.

Explications.

La chaleur dilate tous les corps, comme nous le ferons voir en parlant de l'action du feu. L'esprit-de-vin que l'on a chauffé, est donc moins dense qu'il n'étoit étant plus froid. Mais si la masse totale de cette liqueur occupe un plus grand espace qu'auparavant, il faut que ses parties soient plus rares, plus écartées les unes des autres; en un mot, il y en a moins dans le volume mesuré par la figure d'émail ; & par conséquent il n'est plus capable de la soutenir, elle va au fond de la fiole, & elle y demeure, tant que les choses sont en cet état; mais lorsque l'esprit-de-vin se refroidit, ses parties se rapprochent, se condensent, & le volume qui répond à la petite figure, augmentant de matiére, & de poids par consé-

quent, devient en état de la ſoutenir & de la ſoulever. Il eſt vrai que la même chaleur qui dilate la liqueur, dilate auſſi la figure d'émail; mais elle la dilate moins, & cela ſuffit pour faire naître les effets que nous venons d'expliquer.

VIII. Leçon.

VIII. EXPÉRIENCE.

Preparation.

Le vaiſſeau repréſenté par la *Fig.* 7. eſt une eſpéce de bouteille longue de verre, élevée ſur une patte de même matiére; elle eſt remplie d'eau, & ſi l'on veut qu'elle ne ſe géle point pendant l'hyver, on y peut mettre un tiers d'eſprit-de-vin. On la bouche avec un morceau de veſſie mouillée, que l'on étend ſur l'orifice, & que l'on arrête autour du col avec un fil. Dans cette bouteille, eſt une petite figure creuſe d'émail, plus légère que la liqueur, & au pied de laquelle on a pratiqué un petit trou, comme pour paſſer une épingle; ou bien la figure eſt ſolide, & l'on y joint au-deſſus de la tête une petite ampoule de verre, percée d'un petit trou en ſa partie inférieure.

VIII. LEÇON.

EFFETS.

1°. Lorſque l'on appuie avec le bout du doigt ſur la veſſie, la petite figure deſcend au fond de la bouteille, & y demeure tant que la même preſſion ſubſiſte.

2°. Si l'on appuie moins fort, ou que l'on ceſſe d'appuier, elle remonte auſſi-tôt.

3°. Si l'on modére la preſſion, lorſqu'elle eſt en chemin pour deſcendre, elle ſe tient à tel endroit que l'on veut.

4°. Si l'on preſſe la veſſie, comme par ſecouſſes, la petite figure pirouette ſur elle même.

Ces effets ſont les mêmes, quand on renverſe la bouteille & que la preſſion ſe fait de bas-en-haut; ainſi l'on peut donner à cette expérience un air de myſtère, en arrangeant pluſieurs tuyaux dans un chaſſis, & en faiſant la preſſion néceſſaire ſur leurs orifices, d'une maniére cachée aux yeux des ſpectateurs, ſoit par des leviers de renvoi, ſoit par des cordons cachés dans l'épaiſſeur des bois, ou autrement. Voyez la *Figure* 8.

EXPLICATIONS.

Les liqueurs, ou ne ſe compriment point, ou ne ſe compriment que très-difficilement, comme nous l'avons enſeigné dans la ſeconde Leçon. L'air au contraire eſt un fluide flexible, & que l'on peut comprimer avec beaucoup de facilité; c'eſt ce que nous prouverons ailleurs. La petite figure creuſe d'émail ou l'ampoule de verre à laquelle elle eſt attachée, eſt remplie d'air, & elle eſt plongée dans l'eau. Elle eſt donc pleine d'une matiére compreſſible, & environnée d'une autre qui ne l'eſt point. Quand on appuie avec le doigt ſur la veſſie, on preſſe toute la maſſe de l'eau qui eſt dans la bouteille, la colonne qui répond au petit trou dont nous avons parlé, ne pouvant rentrer ſur elle-même à cauſe de ſon infléxibilité, porte tout l'effort qu'elle reçoit de la preſſion, contre l'air qui eſt dans la cavité; & comme ce fluide ſe laiſſe comprimer & reſſerrer dans un moindre eſpace, il céde à l'eau une partie de celui qu'il occupe; alors la figure d'émail eſt plus peſante qu'elle n'étoit, car on

VIII. LEÇON.

doit la considérer comme un composé d'émail, d'air plus condensé, & d'un peu d'eau qu'elle a reçue. Si le tout ensemble est plus pesant que le volume d'eau correspondant, il va au fond ; il remonte au contraire, quand il est plus léger, c'est-à-dire, quand une moindre pression pousse moins d'eau dans la figure, ou qu'on laisse à l'air comprimé la liberté de repousser par son ressort celle qui est entrée : & l'on conçoit aisément qu'en ménageant cette pression du doigt, on retient dans la figure une quantité d'eau, telle que le tout ensemble est en équilibre dans la masse. Enfin comme le petit trou par où l'eau peut entrer ou sortir, est pratiqué à l'une des deux jambes, ou au bas de l'ampoule & un peu de côté, si le fluide qui y passe, est poussé ou repoussé avec une grande vîtesse, l'impulsion oblique doit faire tourner la figure sur elle-même ; car étant ainsi suspendue dans l'eau, c'est comme si elle étoit mobile sur deux pivots, ou sur un axe.

Cette figure devient donc tantôt plus légère, tantôt plus pesante, que la liqueur dans laquelle elle est plon-

gée, non parce que le volume d'eau correſpondant change de denſité ou de grandeur, mais parce que le corps plongé devient lui-même alternativement plus denſe & plus léger de matiére, ſans changer de volume.

VIII. LEÇON.

APPLICATIONS.

Comme de tous les animaux qui reſpirent l'air, les uns ſe tiennent à la ſurface de la terre, pendant que d'autres s'élévent dans l'atmoſphère, & s'y meuvent à leur gré; de même parmi ceux qui habitent les eaux, il y en a quantité d'eſpéces qui ne quittent guère le fond, & beaucoup d'autres au contraire qui s'élévent de bas-en-haut, & qui deſcendent avec une égale facilité, quand leurs beſoins l'exigent. On trouve dans la plûpart de ces derniers une double veſſie remplie d'air, qui porte à croire que le poiſſon, à l'aide de ce fluide à reſſort, augmente ou diminue le volume de ſon corps, quand il veut ou s'élever, ou deſcendre; car après ce qui a été dit ci-deſſus, on conçoit bien que l'animal augmentant en grandeur, ſans augmente de

VIII. LEÇON.

matiére, peut devenir plus léger que le volume d'eau auquel il répond actuellement : & qu'au contraire s'il diminue ſon propre volume, il déplace moins d'eau, & qu'il peut ſe rendre de cette maniére, plus peſant que le fluide qui s'oppoſe à ſa chûte.

Ce qui rend cette explication encore plus vraiſemblable, c'eſt que ſi l'on dilate l'air de la double veſſie, en mettant le poiſſon dans le vuide ; tant que cet état dure, il fait de vains efforts pour aller ou pour reſter au fond de l'eau, il ſurnage malgré lui : & il éprouve un effet tout contraire, lorſqu'on l'a privé de cet air intérieur ſoit en crevant la double veſſie, ſoit en la vuidant en partie.

Les animaux qui ſe noyent, vont d'abord au fond de l'eau, parce qu'ils ſont plus peſans qu'elle ; mais quelque tems après on les voit reparoître à la ſurface, & communément ces apparitions recommencent pluſieurs fois. C'eſt que ces cadavres deviennent alternativement plus peſans & plus légers que le volume d'eau auquel ils répondent. L'animal ſuffoqué au fond d'une riviére ſe corrompt en peu de

jours : la corruption n'eſt qu'un déplacement de parties, & lorſqu'il ſe fait un mouvement général dans les parties d'un tout, ſon volume augmente. Un tel corps ſurnage donc, parce que, ſans avoir plus de matiére, il a plus de grandeur, & qu'il répond à un volume d'eau plus peſant que lui. C'eſt une choſe qui ne peut être ignorée de ceux qui ont eu occaſion de voir ces corps qui reviennent ainſi ſur l'eau. On a dû remarquer qu'ils ſont toujours gonflés & tendus comme des ballons ; mais s'ils reſtent quelque tems ainſi entre l'eau & l'air, la corruption augmente, il ſe fait des diſſolutions & des évacuations, qui donnent lieu aux parties les plus ſolides de s'affaiſſer & de ſe rapprocher, le volume total diminue, & répond à une moindre quantité d'eau qui n'eſt plus en état de le ſoutenir ; & ſi après cette nouvelle immerſion, quelqu'autre fermentation vient encore à gonfler le cadavre aſſez conſidérablement, on le voit reparoître de nouveau.

Un corps quelconque n'a pas beſoin que ſon propre volume ſoit augmen-

VIII. LEÇON.

té pour ſurnager, il ſuffit qu'il ſoit uni à quelque autre matiére plus légère que le fluide dans lequel il eſt plongé, & que le tout enſemble péſe moins que le volume correſpondant. Les gens qui apprennent à nager ſe garniſſent le corps de veſſies pleines d'air, ou de calebaſſes. Ces volumes auxiliaires les mettent en état de ſe ſoutenir plus facilement ſur l'eau; mais avec ces ſortes de précautions, les maladroits courent encore beaucoup de riſques; car pour ſe noyer il ſuffit d'avoir la bouche & le nez dans l'eau, & celui qui ne ſçauroit pas ſe tenir toujours dans une ſituation propre à lui laiſſer reſpirer l'air, périroit avant même que d'aller à fond.

Si, pour nager à l'impromptu, les autres animaux ont quelque avantage ſur l'homme, je ne penſe pas qu'ils en ſoient redevables, comme on le dit quelquefois, à l'ignorance du danger ou au défaut de réflexion. Quand un cheval, un bœuf, un chien ſe trouve à la nage malgré lui, de quelque maniére qu'il juge de ſa ſituation, j'ai peine à me perſuader qu'il n'en ſente point le péril. Je lui vois faire tout

ce qu'un homme voudroit imiter en pareil cas ; & quand il a pris terre, il donne des ſignes de joie, & ſe comporte avec des précautions qui prouvent aſſez la peur qu'il a eue. Mais ce qui fait qu'un quadrupéde ſe ſauve plus facilement à la nage, c'eſt, je penſe, que ſon poids qui tend à l'enfoncer, ne change rien à ſa poſture naturelle, & que quand le reſte du corps ſeroit entiérement plongé à fleur d'eau, ſa tête ſe trouve encore hors de l'eau ſans un grand effort. Il n'en eſt pas de même d'un homme ; l'endroit le plus peſant, ce qui ſe plonge le premier, eſt vers la tête, & quand il nage aſſez pour ne point aller à fond, il a encore des ſoins à prendre, & des efforts à faire, pour éviter d'avoir le viſage dans l'eau : auſſi les nageurs ſont-ils plus à leur aiſe ſur le dos qu'autrement.

Cette explication dont je fais uſage depuis plus de 20 ans dans mes Leçons publiques, me paroît d'autant plus probable, qu'elle ſe trouve aſſez conforme à celle d'un Sçavant qui n'a point été à portée de m'entendre, & qui eſt trop riche de ſon propre fond

VIII. LEÇON.

pour être soupçonné de s'approprier les pensées des autres. Feu M. Bazin ci-devant Bibliothéquaire de S. E. Monseigneur le Cardinal de Rohan à Strasbourg, digne Correspondant de M. de Reaumur, à l'Académie des Sciences, & l'Auteur de plusieurs Ouvrages de Physique, qui ont été justement applaudis, fit imprimer en 1741. un volume *in-8°.* dans lequel on trouve une dissertation fort curieuse, sur la différence qu'il y a entre l'homme & les bêtes, par rapport à la facilité de nager. Le Lecteur qui voudra s'instruire amplement sur cette matiére, trouvera dans cet écrit de quoi se satisfaire.

Si des calebasses, ou des vessies pleines d'air empêchent un homme d'aller à fond, de pareils moyens employés d'une maniére convenable peuvent soulever, & amener à la surface de l'eau des corps submergés ausquels on les auroit joints. Lorsqu'un navire a échoué sur le sable, ou qu'il est envasé, pour le remettre à flot, on y attache, dans le tems de la marée basse, de grandes caisses très-fortes, & dont les volumes sont proportionnés au poids du vaisseau, & à l'effort qu'on

qu'on juge néceſſaire pour le détacher. A la marée montante, ſi le volume d'eau qui répond à cet aſſemblage, péſe plus que lui, il ne manque pas de l'enlever, & de le mettre en état d'être tiré à bord.

Quand cette opération doit ſe faire dans des endroits où il n'y a point de marée, c'eſt-à-dire, où la ſurface de l'eau demeure toujours à même hauteur, on emplit d'eau les caiſſes que l'on veut joindre au vaiſſeau, pour les faire enfoncer le plus profondément qu'il eſt poſſible, ſans cependant les ſubmerger; & lorſqu'elles ſont attachées, on les vuide avec des pompes, pour leur rendre la premiére légéreté qu'elles avoient, & qu'elles doivent partager avec le corps engravé, & ce procédé a le même ſuccès que le premier, ſi l'on a obſervé les proportions néceſſaires.

Le plus difficile dans ces ſortes d'opérations, c'eſt de paſſer des cables ſous le vaiſſeau engravé, ſur-tout quand il l'a été long-tems, & que la vaſe s'eſt endurcie autour, & s'y eſt conſidérablement accumulée. Cette difficulté a été vaincue il y a environ

VIII. Leçon.

18 ans avec beaucoup de courage, & fort ingénieusement, par M. Goubert, Officier des vaisseaux du Roi, qui sçut joindre à la valeur la plus éprouvée, la sagacité des plus habiles Ingénieurs, & qui est enfin venu à bout d'enlever un des vaisseaux qui avoient péri en 1702, dans la rade de *Vigo* en Espagne ; entreprise qui avoit été tentée inutilement, & à grands frais, par plusieurs Compagnies formées tant en France qu'ailleurs. C'est dommage qu'un succès aussi heureux n'ait valu à M. Goubert que des applaudissemens ; les espérances dont il pouvoit se flatter, avoient échoué sans retour avec le vaisseau : on avoit sans doute eu soin d'en ôter les effets à l'aspect du naufrage ; on n'y trouva rien qui pût dédommager les entrepreneurs des grands frais ausquels cet ouvrage les avoit engagés.

IV. Proposition.

Si le corps solide est moins pesant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie ; ce qui reste plongé mesure une quantité de liqueur qui pése autant que le corps entier.

IX. EXPERIENCE.

VIII. LEÇON.

PREPARATION.

Le vaſe repréſenté par la *Fig.* 9. eſt de verre, preſque cylindrique, & garni par en-bas d'un robinet; on y met de l'eau à peu près juſqu'aux deux tiers, où l'on fait une marque; on y plonge enſuite une boule de cire bien ronde, & preſque auſſi groſſe que le vaiſſeau eſt large; cette immerſion éléve la ſurface de l'eau; on en ôte par le robinet, tant que la ſurface ſoit baiſſée juſqu'à la marque où elle étoit en premier lieu; on retire la boule de cire, on l'eſſuie, & on la péſe contre la quantité d'eau qu'on a tirée du vaſe.

EFFETS.

La boule & cette quantité d'eau, ſe font réciproquement équilibre; ou ſi cela n'eſt point à la rigueur, il s'en faut de ſi peu de choſe, qu'il eſt aiſé de voir que cette petite différence vient d'un défaut d'exactitude dans le procédé; car il ſuffit pour cela qu'en tirant l'eau du vaſe, il en ſoit ſorti

VIII. LEÇON. quelques gouttes de plus ou de moins qu'il ne faut.

EXPLICATIONS.

La boule de cire plongée ne s'enfonce point entiérement ſous l'eau, parce qu'elle eſt un peu plus légère; mais la plus grande partie qui reſte plongée, déplace une quantité d'eau qui s'éléve au-deſſus de la marque. Lorſqu'on tire de l'eau par le robinet, juſqu'à ce que la ſurface revienne à cette même marque, on eſt ſûr d'avoir la quantité déplacée par l'immerſion de la boule, & puiſque cette quantité d'eau fait équilibre à la boule entiére, n'eſt-ce pas une preuve, que *la partie plongée meſure une quantité de liqueur qui péſe autant que le corps entier*, comme nous l'avons énoncé dans notre propoſition?

CONSEQUENCES.

Il ſuit de la propoſition précédente,

1°. Que d'un corps qui ſurnage, la partie plongée eſt d'autant plus petite, que la liqueur eſt plus denſe, ou que le corps plongé eſt moins peſant.

2°. Qu'il y a toujours une partie plongée, lorſque le ſolide qui repoſe ſur la liqueur, a une peſanteur & une épaiſſeur ſenſible. Car s'il eſt peſant, comme on le ſuppoſe, il faut quelque choſe qui lui faſſe équilibre ; & ce qui fait cet équilibre c'eſt le volume de liqueur déplacé, comme nous l'avons prouvé dans la derniere expérience.

X. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Dans un petit vaſe long & étroit, qu'on a rempli de quelque liqueur juſqu'aux trois quarts de ſa capacité, *Fig.* 10, on plonge une petite bouteille de verre très-mince, qui a un long col gradué, & qui eſt leſtée au fond avec un peu de mercure, afin qu'elle ſe tienne dans une direction perpendiculaire.

EFFETS.

Cette petite bouteille à long col, qu'on nomme communément *Aréométre*, ou *Peſe liqueurs*, s'enfonce plus ou moins dans le vaſe, ſelon qu'il eſt

VIII. LEÇON.

rempli d'une liqueur plus ou moins denſe, c'eſt-à-dire, qu'il deſcend plus profondément dans le vin que dans l'eau, & dans l'eau-de-vie encore plus que dans le vin. Et ſi l'on met au haut de ſa tige quelque petite lame de métal, il s'enfonce plus avant, quoique dans la même liqueur.

EXPLICATIONS.

La partie plongée de l'aréométre, ſouléve autant de liqueur qu'il en faut pour faire équilibre à l'inſtrument entier. S'il péſe une once, par exemple, il ſouléve moins d'eau que de vin, quant au volume, parce qu'il faut plus de vin que d'eau pour le poids d'une once, & comme il ne fait monter la liqueur qu'en s'enfonçant. il doit donc plonger plus avant, dans celle qui eſt la plus légère.

Si l'on augmente le poids de l'aréométre par l'addition de quelque lame de métal ou autrement, il s'enfonce plus avant, quoique dans la même liqueur, parce qu'alors il en faut une plus grande quantité pour lui faire équilibre.

APPLICATIONS.

VIII. LEÇON.

Puisque tous les corps qui flottent, comme nous venons de le faire voir par l'expérience de l'aréométre, s'enfoncent plus ou moins, selon la densité du fluide; une barque chargée en mer aura donc moins de parties hors de l'eau, si elle vient à remonter une riviére : car l'eau salée pése plus que l'eau douce, & les nageurs assurent qu'ils en sentent bien la différence. On doit donc avoir égard à cet effet, & ne pas rendre la charge aussi grande qu'elle pourroit l'être, si l'on prévoit qu'on doive passer par une eau moins chargée de sel, que celle où l'on s'embarque.

On a vu quelquefois des *isles flottantes*, c'est-à-dire, des portions de terre assez considérables, qui se détachant du continent, & se trouvant moins pesantes que l'eau, se soutiennent à la surface, & flottent au gré des vents. L'eau mine peu à peu certains terreins qui sont plus propres que d'autres à se dissoudre; ces sortes d'excavations s'augmentent avec le tems & s'étendent au loin; le des-

ſus demeure lié par les racines des plantes & des arbres, & le ſol n'eſt ordinairement qu'une terre bitumineuſe, fort légère, de ſorte que cette eſpèce de croute eſt moins peſante que le volume d'eau ſur lequel elle eſt reçûe, quand un accident quelconque vient à la détacher de la terre ferme, & la met à flot.

VIII. LEÇON.

L'exemple de l'aréométre fait voir encore qu'il n'eſt pas beſoin, pour ſurnager, que le corps flottant ſoit d'une matiére plus légère que l'eau. Car cet inſtrument ne ſe ſoutient point en vertu du verre ou du mercure dont il eſt fait, mais ſeulement parce qu'il a, avec peu de matiére, un volume conſidérable qui répond à une quantité d'eau plus peſante. Ainſi l'on pourroit faire des barques de plomb ou de tout autre métal, qui ne s'enfonceroient pas. Et en effet les chariots d'artillerie portent ſouvent, à la ſuite des armées, des gondoles de cuivre, qui ſervent à établir des ponts, pour le paſſage des troupes.

De la Balance hydroſtatique, & de ſes uſages.

VIII. LEÇON.

La balance hydroſtatique que nous avons employée pour les expériences précédentes, eſt un inſtrument fort commode pour connoître la peſanteur ſpécifique des fluides & des ſolides, qui peuvent être plongés ſans ſe diſſoudre & ſans changer de volume. Nous ne pouvons pas nous étendre beaucoup ſur ſes uſages, parce que ces ſortes de détails paſſent les bornes que nous nous ſommes preſcrites dans cet Ouvrage; ceux qui ſeront curieux de les ſçavoir, pourront lire ce qu'en ont écrit Boyle, & après lui MM. Cotes, Deſaguilliers, s'Graveſande, &c. nous nous contenterons de faire voir que les effets de cette balance ne ſont que des applications des principes établis ci-deſſus, & nous nous bornerons à quelques exemples qui ſuffiront pour le prouver.



VIII. LEÇON.

PREMIER USAGE.

Connoître la Peſanteur ſpécifique d'une Liqueur.

La peſanteur ſpécifique d'une matiére, c'eſt le poids qu'elle a ſous un volume connu : c'eſt ce qu'on nomme auſſi ſa *denſité*. Un ſolide entiérement plongé déplace un volume de liqueur égal à lui. On aura donc la ſolution du problême, ſi l'on a un moyen de connoître le poids de ce volume déplacé : or la quatriéme expérience nous a appris que ce poids eſt préciſément celui que perd le ſolide par ſon immerſion ; ainſi on procédera de la maniére qui ſuit.

Ayez un corps ſolide qui puiſſe ſe plonger ſans changer de volume, & ſans admettre la liqueur dans ſes pores, comme du verre, par exemple ; ce corps peut être ſphérique, cylindrique, cubique, &c. comme l'on veut. Suſpendez-le avec un cheveu, ou un crin ; au bras de la balance, pour connoître d'abord ſa peſanteur abſolue ; faites-le enſuite plonger entiérement dans la liqueur ; l'équilibre

ſera d'abord rompu par cette immerſion ; ce que vous ſerez obligé d'ajouter pour le rétablir, ſera juſtement le poids du volume de liqueur qui a été déplacé par le corps plongé. Si ce corps étoit un cube d'un pouce, & qu'après l'avoir plongé on eût ajouté 4 gros, il faudroit conclure qu'un pouce cube de la liqueur péſe 4 gros, ou une demi-once.

VIII. LEÇON.

On peut objecter, contre l'exactitude de ce procédé, que la gravité de ce cube de verre, peſé en l'air, n'eſt point ſa peſanteur abſolue, puiſque l'air, en qualité de fluide ambiant, lui ôte une partie de ſon poids ; mais le plomb qui le tient en équilibre, ſouffre une perte à peu-près ſemblable ; & l'air eſt ſi léger, que la peſanteur reſpective & la peſanteur abſolue ſont ſenſiblement les mêmes, quand les corps qui y ſont plongés, n'ont que des volumes peu conſidérables.

Mais une attention qu'on ne ſçauroit porter trop loin dans ces ſortes d'expériences, c'eſt que le ſolide plongé, & la liqueur où ſe fait l'immerſion, ne varient point de den-

VIII. LEÇON.

ſité pendant l'opération. Car ſi celle-ci ſe raréfie ou ſe condenſe, ou bien que le volume de celui-là augmente ou diminue, il en réſultera du mécompte ; & il n'eſt que trop poſſible que cela arrive par le chaud, par le froid, & parce qu'on jugera peut-être de l'état d'une liqueur par ſon nom, ſans faire attention que tout ce qui s'appelle eau commune, eſprit-de-vin, &c. n'eſt pas toujours d'une égale denſité.

Pour remédier à une partie de ces inconvéniens, je voudrois qu'au lieu de plonger un corps ſolide de verre, on ſe ſervît d'une boule creuſe, terminée par un tube capillaire, & remplie de mercure comme un thermométre ; par ce moyen on pourroit s'aſſurer du dégré de denſité de la liqueur, au moins de celui qui réſulte du froid ou du chaud actuel ; & l'on ſeroit sûr en même tems, que le volume du corps plongé n'eſt point changé. Car ſi la température de la liqueur venoit à changer, on en ſeroit averti par l'aſcenſion ou l'abaiſſement du mercure dans le tube capillaire.

II. USAGE.

Comparer les peſanteurs ſpécifiques de deux Liqueurs.

Lorſque l'on a connu la peſanteur ſpécifique de l'une des deux, par l'uſage précédent, on répéte l'opération ſur l'autre, & la différence des poids qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre après l'immerſion, eſt auſſi celle de leurs peſanteurs ſpécifiques.

Dans ces ſortes de comparaiſons il faut bien prendre garde que le dégré de fluidité n'entre pour quelque choſe. Il eſt des liqueurs plus viſqueuſes, plus difficiles à diviſer, dans leſquelles l'immerſion du corps ſolide ſe fait plus difficilement indépendamment de la denſité ; quand cela eſt ainſi, il faut avoir recours à quelqu'autre procédé, pour connoître avec exactitude la peſanteur ſpécifique.



VIII. LEÇON.

III. USAGE.

Comparer les gravités ſpécifiques de deux corps ſolides.

Par la cinquiéme expérience nous avons prouvé que des ſolides dont les peſanteurs abſolues ſont égales, en perdent, par l'immerſion dans un même fluide des quantités qui ſont proportionnelles à leurs volumes.

Mettez donc en équilibre dans l'air deux morceaux des matiéres propoſées ; faites-les plonger enſuite entiérement dans deux vaſes remplis de la même liqueur. Si leurs volumes ſont égaux, l'équilibre ſubſiſtera, parce que les pertes ſeront égales de part & d'autre ; s'ils ſont inégaux, le plus petit emportera l'autre ; & ce qu'il faudra ajouter à celui-ci pour le remettre en équilibre, fera la différence qu'il y aura entre les gravités ſpécifiques des deux.

Si les corps en queſtion ne ſont point aſſez peſans pour ſe plonger tout-à-fait par leur propre gravité, on pourra y joindre des poids qui ne changeront rien à l'effet, s'ils ſont

parfaitement ſemblables de part & d'autre. Mais il faut bien prendre garde qu'il ne s'attache à la ſurface des corps plongés, des bulles d'air, ou quelque choſe de gras, qui empêche la liqueur de s'y appliquer exactement de toutes parts; car leurs volumes alors ſeroient augmentés, & leur peſanteur en paroîtroit d'autant diminuée.

IV. Usage.

Comparer la gravité ſpécifique d'un corps ſolide, avec celle d'une liqueur.

Quand on a peſé un corps ſolide dans l'air, ce qui lui reſte enſuite de ſon poids lorſqu'il eſt plongé dans la liqueur, eſt la différence qu'il y a entre les peſanteurs ſpécifiques de ce corps, & du volume correſpondant de la liqueur. Si, par exemple, un morceau d'or péſe 19 gros dans l'air, & qu'il n'en péſe plus que 18, étant plongé dans l'eau commune, c'eſt une marque qu'une telle immerſion lui ôte $\frac{1}{19}$ de ſon poids, & que la pe-

santeur spécifique de l'eau est à celle de l'or comme 1 à 19.

VIII. Leçon.

Remarques sur l'Aréométre, ou Péseliqueurs.

L'aréométre que nous avons représenté par la *Fig*. 10. est encore un instrument avec lequel on peut connoître de deux liqueurs laquelle est la plus pesante ; mais si l'on veut s'en servir pour connoître au juste le rapport des pesanteurs, il faut le construire & l'employer avec des précautions dont on se dispense pour l'ordinaire, & sans lesquelles cependant on n'en peut rien attendre d'exact.

1°. Il faut que les liqueurs dans lesquelles on plonge l'aréométre, soient exactement au même degré de chaleur ou de froid, afin qu'on puisse être sûr que leur différence de densité ne vient point de l'une de ces deux causes, & que le volume de l'aréométre même n'en a reçu aucun changement.

2°. Que le col de l'instrument sur lequel sont marquées les graduations,

ſoit par-tout d'une groſſeur égale; car s'il eſt d'une forme irréguliére, les degrés marqués à égales diſtances, ne meſureront pas des volumes de liqueur ſemblables en ſe plongeant; il ſera plus sûr & plus facile de graduer cette échelle relativement à la forme du col, en chargeant ſucceſſivement l'inſtrument de pluſieurs petits poids bien égaux, dont chacun produira l'enfoncement d'un degré.

3°. On doit avoir ſoin que l'immerſion ſe faſſe bien perpendiculairement à la ſurface de la liqueur, ſans quoi l'obliquité empêcheroit de compter avec juſteſſe le dégré d'enfoncement.

4°. Comme l'uſage de cet inſtrument eſt borné à des liqueurs qui different peu de peſanteur entr'elles, on doit bien prendre garde que la partie qui ſurnage ne ſe charge de quelque vapeur ou ſaleté qui occaſionneroit un mécompte, dans une eſtimation où il s'agit de différences peu conſidérables. Et lorſque l'aréométre paſſe d'une liqueur à l'autre, on doit bien prendre garde que ſa ſurface ne porte aucun enduit

VIII. LEÇON.

qui empêche que celle où il entre ne s'applique exactement contre sa surface.

5°. Enfin malgré toutes ces précautions, il reste encore la difficulté de bien juger le degré d'enfoncement, parce que certaines liqueurs s'appliquent mieux que d'autres au verre, & qu'il y en a beaucoup qui lorsqu'elles le touchent, s'élévent plus ou moins au-dessus de leur niveau.

Quand on se sert de l'aréométre dont il est ici question, il faut le plonger d'abord dans la liqueur la moins pesante, & remarquer à quelle graduation se rencontre sa surface: ensuite il faut le rapporter dans la plus dense, & charger le haut de la tige ou du col, de poids connus, jusqu'à ce que le dégré d'enfoncement soit égal au premier. La somme des poids qu'on aura ajoutés, pour rendre cette seconde immersion égale à la premiere, sera la différence des pesanteurs spécifiques entre les deux liqueurs.

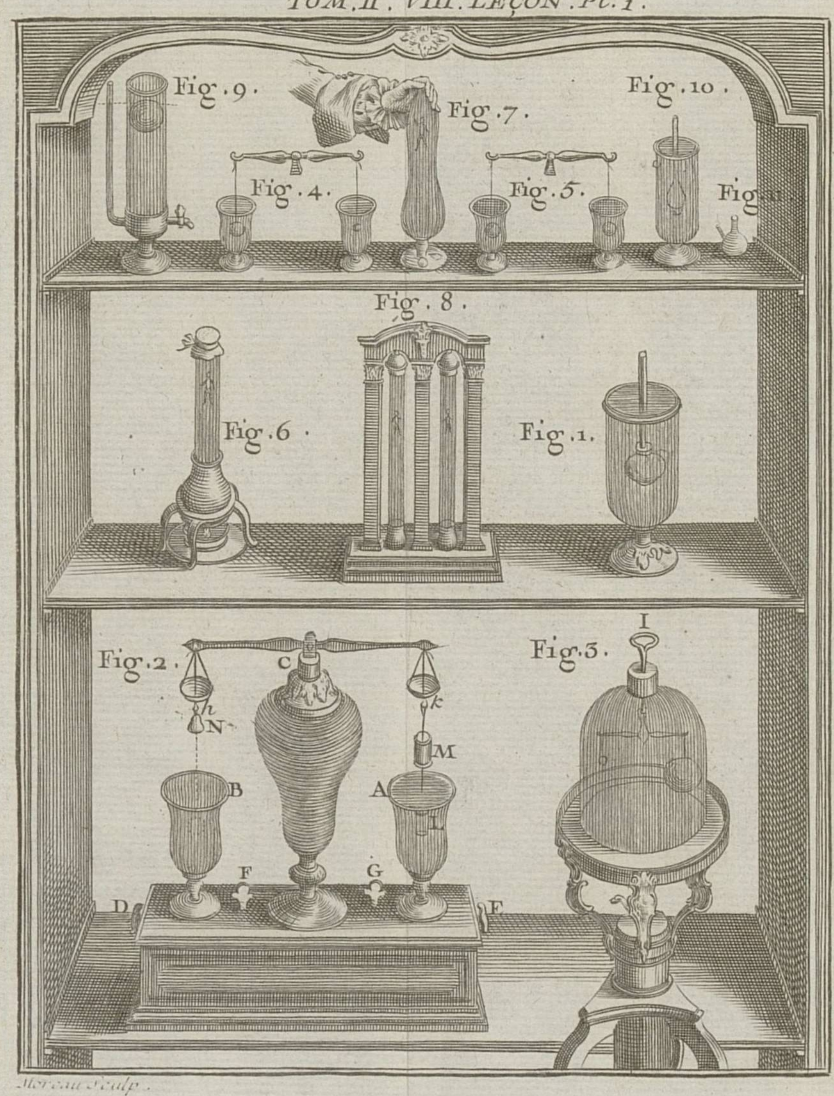
M. Homberg, & plusieurs Physiciens après lui, se sont servis pour

peſer les liqueurs, d'un petit vaiſſeau de verre mince que l'on voit repréſenté dans la *Fig.* 11. on a pratiqué à côté du col un petit tuyau montant, par le moyen duquel on a prétendu emplir la bouteille toujours également, parce qu'il eſt plus facile d'eſtimer la hauteur juſte de la liqueur dans un petit tuyau, que dans le col de l'inſtrument où la ſurface eſt plus étendue. De cette maniére, on a compté meſurer toujours des volumes égaux, dont il feroit aiſé de connoître la peſanteur en les appliquant à une balance. Mais nous ne pouvons diſſimuler que cette méthode eſt ſujette, comme les autres, à pluſieurs inconvéniens; le plus grand de tous, c'eſt que le petit tuyau montant eſt fort étroit, & que les liqueurs ne s'y mettent point de niveau; la plûpart s'y tiennent plus élevées, comme nous le dirons bientôt, & cet excès n'eſt pas le même pour toutes.

Pluſieurs Sçavans ſe ſont donné la peine d'examiner les peſanteurs ſpécifiques d'un grand nombre de matiéres, tant ſolides que fluides, &

VIII. LEÇON.

de les rédiger en tables. On doit aſſûrément leur ſçavoir gré de ce travail, & l'on en ſent toute la difficulté quand on penſe aux attentions ſcrupuleuſes, & au tems qu'on eſt obligé de donner à ces ſortes de recherches, lorſqu'elles deviennent néceſſaires ; mais leurs expériences, quelque exactes qu'elles aient été, ne peuvent nous ſervir de régles que comme des à peu-près. Car les individus de chaque eſpéce, varient entre eux, quant à la denſité ; & l'on ne peut pas dire que deux diamans, deux morceaux de cuivre, deux gouttes de pluie, &c. ſoient parfaitement ſemblables. Ainſi quand il eſt queſtion de ſçavoir au juſte la peſanteur ſpécifique de quelque corps, il faut le mettre lui-même à l'épreuve ; c'eſt le ſeul moyen d'en bien juger. Il y a à la vérité mille occaſions où cette grande exactitude eſt ſuperflue, & alors on peut s'en rapporter aux recherches d'un Phyſicien habile & exact ; c'eſt dans cette vûe que nous avons placé ici une table dreſſée ſur les expériences de M. Muſchenbroek, dont on connoît ſuffiſamment la ſagacité & l'exactitude.


Fig. 9.
Fig. 7.
Fig. 10.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 8.
Fig. 6.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
A
B
C
D
E
F
G
I
h
k
L
M
N
Moreau Sculp.

Les peſanteurs ſpécifiques de toutes les matiéres énoncées dans cette table, ſont comparées à celle de l'eau commune ; & l'on prend pour eau commune celle de la pluie dans une température moyenne. Ainſi lorſqu'on verra dans la table, eau de pluie... 1, 000, or de coupelle 19, 640, air 0, 001 $\frac{1}{4}$, c'eſt-à-dire, que la peſanteur ſpécifique de l'or le plus fin, eſt à celle de l'eau comme 19 $\frac{1}{2}$ à peu-près, à 1 ; & que la gravité de l'air n'eſt preſque que la milliéme partie de celle de l'eau.

Table alphabétique des matiéres les plus connues, tant ſolides que fluides, dont on a éprouvé la peſanteur ſpécifique.

Acier flexible ou non trempé.	7, 738.
Acier trempé.	7, 704.
Agathe d'Angleterre.	2, 512.
Air.	0, 001 $\frac{1}{4}$
Albâtre.	1, 872.
Alun.	1, 714.
Ambre.	1, 040.
Amiante.	2, 913.
Antimoine d'Allemagne.	4, 000.

VIII. LEÇON.

——— Antimoine d'Hongrie......	4, 700.
Ardoiſe bleue..............	3, 500.
Argent de coupelle........	11, 091.
Biſmuth..................	9, 700.
Bois de Bréſil.............	1, 030.
——— Cédre..............	0, 613.
——— Orme..............	0, 600.
——— Gayac..............	1, 337.
——— Ebéne..............	1, 177.
——— Erable.............	0, 755.
——— Frêne..............	0, 845.
——— Bouis..............	1, 030.
Borax....................	1, 720.
Caillou..................	2, 542.
Camphre..................	0, 995.
Charbon de terre..........	1, 240.
Cinabre naturel...........	7, 300.
——— artificiel...........	8, 200.
Cire jaune................	0, 995.
Corail rouge..............	2, 689.
——— blanc..............	2, 500.
Corne de bœuf............	1, 840.
——— cerf...............	1, 875.
Cryſtal de roche..........	2, 650.
——— d'Iſlande...........	2, 720.
Cuivre de Suéde..........	8, 784.
——— jetté en moule........	8, 000.
Diamant..................	3, 400.
Ecailles d'huîtres.........	2, 092.

Encens	1, 071.
Eau commune ou de pluie	1, 000.
——diſtillée	0, 993.
——de riviére	1, 009.
Eſprit-de-vin rectifié	0, 866.
——de térébenthine	0, 874.
Etain pur	7, 320.
——allié d'Angleterre	7, 471.
Fer	7, 645.
Gomme Arabique	1, 375.
Grenat de Bohême	4, 360.
——de Suéde	3, 978.
Huile de lin	0, 932.
——d'olives	0, 913.
——de vitriol	1, 700.
Karabé ou ambre jaune	1, 065.
Lait de vache	1, 030.
Litarge d'or	6, 000.
——d'argent	6, 044.
Maganèſe	3, 530.
Marbre noir d'Italie	2, 704.
——blanc d'Italie	2, 707.
Mercure	13, 593.
Noix de Galles	1, 034.
Or d'eſſai ou de coupelle	19, 640.
————d'une guinée	18, 888.
Os de bœuf	1, 656.
Pierre ſanguine	4, 360.
——calaminaire	5, 000.

Pierre à fuſil opaque........2, 542.
——— tranſparente......2, 641.
Plomb..................11, 325.
Poix...................1, 150.
Sang humain............2, 040.
Sapin..................0, 550.
Sel de Glauber.........2, 246.
——— ammoniac...........1, 453.
——— gemme..............2, 143.
——— polycreſte.........2, 148.
Soufre commun..........1, 800.
Talc de Veniſe.........2, 780.
Tartre.................1, 849.
Turquoiſe..............2, 508.
Verd-de-gris...........1, 714.
Verre blanc............3, 150.
Verre commun...........2, 620.
Vin de Bourgogne.......0, 953.
Vinaigre de Vin........1, 011.
——— diſtillé...........1, 030.
Vitriol d'Angleterre...1, 880.
Yvoire.................1, 825.



VIII. LEÇON.

APPENDICE,

Touchant les tuyaux capillaires, & les causes immédiates de la fluidité & de la solidité des corps.

ARTICLE PREMIER.

Des tuyaux capillaires.

JE place ici ce qu'il importe de sçavoir touchant les tuyaux capillaires, comme des exceptions aux loix de l'hydrostatique, qui ont été établies précédemment. Ce n'est pas que je pense qu'il soit absolument impossible de rappeller à ces loix générales ce qu'il y a de singulier en apparence dans ces sortes de phénoménes : mais quoique cela ait été tenté plusieurs fois, & par des Physiciens du premier ordre, nous ne dissimulerons point que le succès en est encore douteux, & que ce qu'ils ont dit sur cette matiére, ne peut être reçu que comme des probabilités, ingénieuses pour la plûpart, mais

qui laiſſent toujours des difficultés à réſoudre. D'autres peut-être plus heureux dans leurs recherches, trouveront le moyen de concilier avec des principes généralement avoués, ces effets à qui l'on ſeroit tenté d'imaginer des cauſes nouvelles & d'un genre particulier, ſi l'on ne ſçavoit qu'en Phyſique l'imagination n'a pas grand poids, ſi l'expérience ne la ſoutient.

On appelle *tubes*, ou *tuyaux capillaires*, ceux qui ſont menus : ils peuvent être faits de verre, ou de toute autre matiére capable de contenir les liqueurs. Ce nom leur vient, ſans doute, de la reſſemblance qu'ils peuvent avoir avec les cheveux, que l'on regarde communément comme de petits canaux creux dans toute leur longueur, & capables de tranſmettre certaines humeurs.

Cette comparaiſon néanmoins ne limite pas la groſſeur des tubes capillaires à celle d'un cheveu ; ceux dont on ſe ſert communément pour les expériences, ſont beaucoup moins menus, & les effets qui ſont propres à ces ſortes de tuyaux, ſe laiſſent en-

core appercevoir, quand leur diamétre égale deux lignes, & même deux lignes & demie. Leur forme est tout-à-fait indifférente : deux morceaux de glace de miroir, dont les plans s'approchent parallélement à une distance convenable, produisent les mêmes effets qu'une suite de petits tuyaux ; & tous les corps spongieux, ou assez poreux pour admettre les liqueurs, peuvent être aussi considérés comme des assemblages de canaux capillaires. Nous allons exposer dans les expériences qui suivent, ce qu'il y a de plus intéressant dans cette matiére. On verra dans les préparations les différentes dimensions que peuvent avoir les tuyaux capillaires, & leurs propriétés se connoîtront par les effets résultans de chaque procédé.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un petit gobelet *A B*, *Fig.* 12. que l'on emplit successivement de différentes liqueurs, on plonge le petit tuyau *C D*, dont les deux ex-

VIII. LEÇON. trémités sont ouvertes, & que l'on a attaché sur une petite bande de carton blanc divisé selon sa longueur en parties égales.

EFFETS.

Premiére propriété des tubes capillaires.

Dès que le tube est plongé, la liqueur s'éléve vers *D*; & si l'on enfonce le tube plus avant dans le gobelet, la liqueur monte d'autant au-dessus de l'endroit où elle s'étoit fixée d'abord;cet effet est général pour toutes les liqueurs ; il en faut seulement excepter une, dont nous ferons mention ci-après.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On procéde dans cette expérience comme dans la précédente ; les liqueurs dont on emplit successivement le petit gobelet, sont l'urine, l'esprit-de-vin, l'esprit de nitre, l'eau salée, l'huile de vitriol. Il faut avoir soin de faire passer de l'eau nette dans le petit tube, à chaque fois que l'on

change de liqueur; faire enſorte qu'elles ayent toutes la même température, & remarquer à quel dégré chacune s'éléve.

VIII. LEÇON.

EFFETS.

Seconde propriété.

Ces liqueurs s'élévent dans le même tube à différentes hauteurs, ſelon l'ordre qui ſuit, en commençant par celles qui montent le plus haut; l'urine, l'huile de vitriol concentrée, l'eau ſalée, l'eſprit de nitre & l'eſprit-de-vin; ce qui fait voir que les liqueurs ne s'élévent point dans les tubes capillaires, en raiſon renverſée de leur denſité, puiſque l'eſprit-de-vin, qui eſt le plus léger, eſt celui de tous ces liquides qui s'éléve le moins.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans de l'eau colorée on plonge deux tubes de même longueur, mais dont les diamétres intérieurement différent de moitié, *Fig.* 13.

VIII. LEÇON.

EFFETS.

Troisiéme propriété.

L'eau s'éléve une fois plus haut, dans celui des deux tubes qui a le diamétre une fois plus petit; & comme cet effet suit toujours de même le rapport que les diamétres ont entr'eux, on peut conclure en général que les liqueurs s'élévent dans les tubes capillaires en raison inverse de leur largeur, c'est-à-dire, qu'elle y monte d'autant plus haut, qu'ils sont plus étroits.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut répéter les expériences précédentes, en employant du mercure au lieu des liqueurs dont on s'est servi, ou bien verser du mercure dans un siphon renversé, dont une des branches soit capillaire, comme le représente la *Fig.* 14.

EFFETS.

Quatriéme propriété.

On remarquera que le mercure ſe tient toujours plus bas que ſon niveau, & que ſon abaiſſement eſt d'autant plus grand, que le tube eſt plus étroit. Dans le ſiphon renverſé, par exemple, au lieu de s'élever en G dans la branche capillaire, pour être de niveau à celui de l'autre branche, il ſe tient en *H*, & ſe tiendroit encore plus bas, ſi ce tuyau qui le contient étoit d'un diamétre plus petit.

Juſqu'à préſent on ne connoît que le mercure qui ſe comporte ainſi dans les tubes capillaires: il eſt probable que toutes les matiéres métalliques, qu'on tiendroit en fuſion, feroient la même choſe; j'en juge par l'étain & le plomb fondus que j'ai mis à l'épreuve.

EXPLICATIONS.

Tous ces faits, comme l'on voit, paroiſſent contraires aux régles ordinaires de l'hydroſtatique, par leſquelles nous avons vû qu'une liqueur ſe met toujours en équilibre avec elle-même, ſoit dans un ſeul & même vaiſſeau, ſoit dans pluſieurs qui com-

VIII. LEÇON.

muniquent enſemble; que ſi elle obéit à une force qui l'éléve au-deſſus de ſon niveau, elle lui céde proportionnellement à ſa denſité, &c. Ce que l'on voit de différent dans les tubes capillaires, n'eſt connu que depuis un ſiécle tout au plus; cette découverte s'eſt faite dans un tems où l'on penſoit déja que tout ce qui ſe préſente à expliquer en Phyſique, ne peut l'être que par des cauſes méchaniques, & qui ſe préſentent à l'eſprit d'une maniére intelligible; les Phyſiciens les plus habiles ont travaillé en conſéquence; mais le ſuccès a-t-il répondu à leur zéle?

On peut ranger en trois claſſes les différentes opinions qui ont été propoſées ſur cette matiére.

La premiere comprend celles qui attribuent ces phénoménes à la preſſion inégale du fluide environnant, en ſuppoſant qu'il exerce ſon poids plus librement, & d'une maniere plus complette, ſur la ſurface du vaiſſeau *A B*, que par l'orifice ſupérieur du tuyau plongé. *Fig.* 12.

Ce fluide environnant, ſelon quelques-uns, eſt l'air dont les parties

rameuſes

rameuses s'embarrassent, & se meuvent difficilement dans un canal étroit, tandis qu'il agit sans obstacle sur la surface du gobelet. Cette pensée est tout-à-fait naturelle & simple ; mais une seule expérience la rend presque insoutenable : tout ce que les tuyaux capillaires font en plein air, ils le font de même sous le récipient d'une machine pneumatique où l'on a fait le vuide.

Que reste-t-il à répondre ? Dira-t-on que le vuide n'est jamais parfait ? & que ce qui reste d'air, après les derniers efforts de la pompe la plus exacte, est encore capable de soutenir quelques pouces d'eau au-dessus de son niveau ?

On sent aisément que la réponse ne satisfait pas à l'objection. Cependant elle n'est point absolument sans force : tout l'air du récipient se raréfie également, si la pression sur la surface du gobelet diminue, la résistance dans le tuyau décroît aussi par proportion ; & les causes de l'inégalité d'action subsistent. Mais une seconde expérience fait voir qu'on ne peut guère soutenir cette inégalité de

VIII. LEÇON.

pression, qui suppose que l'air n'agit pas librement dans le tuyau. Si cela étoit, il faudroit que la liqueur s'élevât proportionnellement à la longueur du tube ; car il est certain que si l'air y trouvoit de l'embarras, il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court : cependant cela n'arrive point ; c'est le diamétre du tube qui régle le dégré d'élévation ; & quand l'eau est arrivée au point où elle doit monter, elle ne baisse point, quoiqu'on retranche de la partie du tuyau qui est au-dessus d'elle.

Ces raisons ayant fait abandonner l'air grossier, on s'en est pris à un autre fluide plus subtil, & tel qu'il subsiste dans les vaisseaux où l'on fait le vuide de Boyle. On lui suppose des parties globuleuses, & l'on démontre qu'une colonne d'un tel fluide ne remplit jamais bien exactement un tube, & qu'une pression dépendante de cette plénitude, doit diminuer à proportion que le tube est plus étroit ; de-là vient, dit-on, le défaut d'équilibre entre la pression qui se fait sur la liqueur dans le tuyau, & celle qui

s'exerce ſur la ſurface du vaſe où l'on plonge le tuyau.

Cette hypothèſe eſt ingénieuſe ; elle fait agir un fluide dont on ne peut guère conteſter l'exiſtence ; mais elle lui accorde des fonctions qu'on ne peut admettre ſans peine. Un milieu dont les parties ſont plus ſubtiles que celles de l'air commun, & qui le ſont aſſez pour pénétrer les pores du verre, laiſſe-t-il tant de vuide dans le tube, & s'applique-t-il ſi mal aux parois du verre, que ſa preſſion diffère ſenſiblement de celle qu'il exerce en-dehors ſur la ſuperficie du réſervoir ? D'ailleurs, pourquoi la preſſion plus libre & plus entiére ſur la ſurface du vaſe, n'éléve-t-elle pas les liqueurs à des hauteurs qui ſoient proportionnelles à leurs denſités ? Et enfin, pour citer encore l'expérience, il paroît que l'effet dont il s'agit, ne dépend point d'une preſſion qui ſoit plus ou moins libre, ſelon la largeur de la baſe ; car au lieu de plonger le tube dans un vaſe, ſi l'on fait couler une goutte de liqueur en-dehors, & ſelon ſa longueur, dès qu'elle eſt parvenue à l'orifice inférieur, elle re-

monte dans le tube comme en tout autre cas.

VIII. Leçon.

Voilà pourtant ce que l'on a dit de plus vraiſemblable pour expliquer l'aſcenſion des liqueurs dans les tubes capillaires, par la preſſion inégale d'un fluide environnant. Voyons ſi les opinions de la ſeconde claſſe ſont plus heureuſes.

Celle-ci, quoique partagées par différentes vûes, ſe réuniſſent en un point : elles prétendent, que, lorſqu'on a plongé le bout d'un tube capillaire, la petite colonne de liqueur qu'il renferme, perd ſon poids par une adhérence au verre, & que ceſſant de peſer ſur le fond du vaſe où ſe fait l'immerſion, les colonnes extérieures au tube, & qui exercent librement leur peſanteur, en pouſſent une ſemblable ſous la premiére, une autre ſous la ſeconde, & que toutes ces parties s'accumulent en une colonne totale, dont la hauteur eſt proportionnelle au frottement qui augmente comme le diamétre du tuyau diminue.

On conçoit bien comment une petite colonne d'eau, une fois placée

dans un tube capillaire, y eſt ſoutenue par le frottement, ou par l'adhérence aux parois du verre ; mais je ne comprends pas de même comment l'eau du vaſe, par ſon poids, la déplace & la ſouléve, pour lui ſubſtituer une colonne ſemblable : car cette eau environnante n'a de force qu'autant qu'il lui en faut, pour pouſſer dans le tube une colonne qui rempliſſe ſa partie plongée, ou, (ce qui eſt la même choſe,) elle ne peut porter cette colonne que juſqu'à ſon niveau ; mais comment l'y portera-t-elle, s'il faut qu'elle ſouléve en même tems une colonne ſemblable qui occupe la place ? Dira-t-on que celle-ci ne péſe point ſur le fond, parce qu'elle eſt retenue par le frottement du verre ? Cela eſt vrai, tant qu'elle eſt en repos ; mais s'il faut la faire monter, il faut vaincre ſon poids, ou, ce qui eſt équivalent, l'adhérence ou le frottement qui a vaincu ſon poids.

Mais pour faire connoître combien ce ſyſtême s'accorde peu avec l'expérience, il ſuffira de dire que les tubes capillaires ont leurs effets auſſi

VIII. LEÇON.

promptement, & d'une maniére auſſi complette, quand on ne fait que toucher, le plus légérement qu'il eſt poſſible, les liqueurs, comme lorſqu'on les y plonge fort avant; ce qui dénote inconteſtablement, que la preſſion des colonnes qui entourent la partie plongée du tuyau, n'entre pour rien dans cet effet.

Auſſi voyons-nous que quelques-uns de ceux qui ont aſſigné cette cauſe, en ont ſenti eux-mêmes l'inſuffiſance. « L'eau, diſent-ils, demeure » ſuſpendue dans des tubes capillai- » res, par ſon adhérence naturelle au » verre; mais elle y eſt élevée par une » autre cauſe. » Quelle eſt donc cette cauſe qu'on aſſocie à l'adhérence, & qui doit nous expliquer les effets des tubes capillaires? « C'eſt, dit-on, la » même force qui fait que deux gout- » tes d'eau ſe joignent enſemble, lorſ- » qu'on les approche de fort près. » Paſſons à la troiſiéme claſſe.

Ici l'on ſuppoſe que le verre attire la liqueur: mais ſur quoi cette ſuppoſition eſt-elle fondée? Comment faut-il entendre cette attraction? & quelle régle ſuit-elle dans ſes effets?

Car si l'on n'en avoit d'autres preuves que le fait en question, & si l'on faisoit de cette cause une qualité abstraite qui ne fut asservie à aucune mesure, cela ressembleroit beaucoup aux sympathies & aux qualités occultes des Péripatéticiens, si justement & si généralement bannies de la Physique moderne, c'est-à-dire, de la Physique raisonnable.

Les Physiciens qui admettent l'attraction, (car il y en a un assez grand nombre qui tiennent cette opinion ; & nous ne dissimulerons pas que parmi ceux qui l'ont suivie, il s'en trouve quelques-uns, dont le nom seul pourroit prévenir en faveur de ce sentiment, si l'autorité devoit être la régle de nos connoissances physiques;) ces Physiciens, dis-je, se partagent en deux classes. Les uns, conformément à l'esprit de M. Newton, regardent l'attraction comme un fait qui a lieu dans toute la nature, & qui pourroit avoir, comme tous les autres, une cause méchanique qu'il est louable de chercher, mais qu'ils désespèrent, en quelque façon, de pouvoir trouver. Les autres tranchent le

VIII. LEÇON.

mot ; plus hardis en cela que leur Chef, ils prétendent que la vertu attractive est un principe qui vient immédiatement de la volonté du Créateur. Selon les premiers, quand deux corps s'approchent , ou se tiennent unis l'un à l'autre, sans qu'on apperçoive ce qui cause leur réunion ou leur adhérence, c'est un effet dont il y a beaucoup d'exemples, & à qui l'on donne le nom particulier d'*attraction*, seulement pour le distinguer d'un grand nombre d'autres faits semblables en apparence, mais dont la cause est connue. Selon les derniers, tout cela se fait en vertu d'une force innée, d'un penchant naturel , par lequel, de lui-même, & sans aucune impulsion étrangère, un corps se porte vers un autre , & agit sur lui avant que de le toucher, ni par lui-même, ni par d'autres corps intermédiaires.

Ceux qui n'admettent les attractions que comme des faits, me paroissent être dans la route ordinaire. Les Cartésiens les plus fidélement attachés aux causes méchaniques , s'appuient tous les jours sur des phénoménes , dont la cause est encore

obſcure, & leur donnent tels noms qu'il leur plaît : l'*adhérence*, la *viſcoſité*, la *flexibilité*, le *reſſort* de certaines matiéres, ſervent ſouvent à expliquer leurs propriétés, & l'on n'en eſt pas choqué. On ne doit point l'être non plus du mot d'*attraction*, s'il n'exprime qu'un fait qu'on ſe diſpenſe d'expliquer.

Mais doit-on penſer de même de la vertu attractive, conſidérée comme principe de la nature ? Je paſſe qu'elle ne ſoit point métaphyſiquement impoſſible, (& c'eſt une grace que tout le monde ne lui fait pas ;) je ſuppoſe avec ceux qui ont le mieux défendu cette cauſe, que le Créateur en établiſſant l'impulſion, comme la cauſe la plus ordinaire des mouvemens des corps, ait été libre d'établir auſſi l'attraction, & que ces deux principes ne ſoient point incompatibles ; qu'en peut-on conclure, ſinon que Dieu a été le maître d'employer deux moyens au lieu d'un ? Mais de ce qu'une choſe pourroit être, s'enſuit-il qu'elle eſt en effet ? Si certains mouvemens n'ont point encore été bien expliqués par les loix de l'im-

VIII. LEÇON.

pulsion, sont-ils démontrés inexplicables ? & faudroit-il moins qu'une telle démonstration, pour autoriser l'introduction d'un nouveau principe ? sur-tout quand on sçait que la nature affecte autant de simplicité dans les causes, que de fécondité dans les effets ; que l'esprit humain borné dans ses connoissances, ne peut jamais se flatter d'avoir apperçu tout ce qu'il y a à voir, & qu'il n'a jamais été moins éclairé sur les effets naturels, que quand il s'est permis des explications arbitraires. Je trouve fort sage & fort judicieuse cette pensée d'un Sçavant *, qui avoit eu pendant sa vie bien des occasions de sçavoir tout ce qu'on peut dire de favorable pour le systême des attractions, & en même tems tout ce qu'on peut reprocher à l'emploi qu'on a fait des impulsions : « Il ne faut pas nous flatter, » dit-il, que dans nos recherches de » Physique nous puissions jamais nous » mettre au-dessus de toutes les diffi» cultés ; mais ne laissons pas de phi» losopher toujours sur des principes » clairs de méchanique : si nous les » abandonnons, toute la lumiére que

* *M. Saurin, Membre de l'Académ. 1709. pag. 131.*

»nous pouvons avoir eſt éteinte ; & »nous voilà replongés de nouveau »dans les anciennes ténébres du Péripatétiſme, dont le Ciel nous »veuille préſerver. »

M. Newton voyant dans les corps qui nous environnent, quantité d'attractions, c'eſt-à-dire, des effets qu'on peut nommer ainſi, ſoupçonna qu'il y en avoit par-tout ; & s'arrêtant moins à expliquer ces effets qu'à les meſurer, il ſuppoſa que toutes les parties de la matiére ſe portoient réciproquement les unes vers les autres, & que deux corps par conſéquent s'attiroient en raiſon directe de leurs maſſes ; que ſi l'un des deux, par exemple, contient une fois plus de parties, ſon attraction eſt double de celle de l'autre. Il lui parut encore que cette tendance réciproque des corps ne devoit pas être également forte de loin comme de près ; & quelques raiſons le déterminerent à croire, que cette action, ſemblable à toutes celles qui s'étendent en forme de ſphère, pourroit bien être en raiſon inverſe du quarré de la diſtance, c'eſt-à-dire, qu'à deux dégrés d'éloigne-

VIII. LEÇON.

ment les corps s'attireroient 4 fois moins, à trois dégrés neuf fois moins, à quatre dégrés ſeize fois moins, &c.

Juſqu'ici ce n'eſt que ſoupçon ; & que pouvoit-ce être autre choſe, ſelon l'idée même que M. Newton s'étoit faite de l'attraction ? Cette force, ſelon lui, eſt proportionnelle à la maſſe des corps ; tout ce qui eſt en notre diſpoſition eſt ſi petit en comparaiſon du globe ſur lequel nous ſommes, que l'attraction de celui-ci rend inſenſibles toutes les autres petites attractions particuliéres ; comme la lumiére du ſoleil empêche qu'on apperçoive celle d'une bougie. Il falloit donc tranſporter cette hypothèſe à des corps iſolés, & aſſez éloignés les uns des autres, pour voir, ſi l'on pouvoit ſuppoſer qu'ils s'attiraſſent, & ſi leur attraction ſe faiſoit ſuivant les loix qu'on avoit imaginées ; car, encore une fois, ces loix ne pouvoient ſe vérifier dans les petites attractions, & ſi l'on pouvoit en douter, l'attraction en général étoit une hypothèſe mal étayée. Le Philoſophe Anglois ſentant mieux qu'un autre combien l'expérience a d'autorité dans les queſ-

tions de Phyſique, & ne pouvant pas la faire parler, au moins d'une maniére aſſez déciſive, ſur la ſurface de la terre, chercha des preuves dans un champ plus vaſte, & qui lui étoit aſſez connu. Il compara le mouvement des aſtres aux conſéquences de ſon principe, & il y trouva tant de conformité, qu'on eſt tenté de croire que ce grand homme a deviné le ſecret de la nature.

Quelque avantage que puiſſe avoir l'hypothèſe Newtonienne ſur toutes celles qui l'ont précédé ; quoiqu'elle explique d'une maniére plus complette les mouvemens des aſtres, & qu'elle s'étende juſqu'à rendre raiſon de leurs irrégularités apparentes, le fond de la choſe reſte toujours à juger. Les raiſonnemens de M. Newton, (je l'avoue,) ménent à croire que les planétes ont une tendance réciproque les unes vers les autres ; que cette force agit ſelon les loix qu'il lui attribue : mais tout cela peut être primitivement l'effet de quelque impulſion phyſique, & M. Newton n'a oſé prétendre le contraire. De quel droit ſes Diſciples voudroient-ils donc con-

VIII. LEÇON.

vertir l'attraction de fait, en vertu inhérente, en attribut primitif, en nouveau principe ? Eſt-ce qu'en revenant ſur les faits qui ont porté le Maître à ſoupçonner l'attraction générale, ils y auroient vû autre choſe que lui ? Auroient-ils apperçu dans la choſe même, l'impoſſibilité d'une explication méchanique ? ou bien prendroient-ils pour des preuves de l'attraction, toutes les applications infructueuſes que l'on a faites juſqu'ici de l'impulſion, à certains phénoménes difficiles à expliquer ? Les deux premiéres raiſons n'ont encore été alléguées par perſonne ; & ceux qui ont hazardé la troiſiéme, ont manqué de Logique : car ce n'eſt pas raiſonner en régle, que de dire : *Ceci n'eſt point expliqué par les loix de l'impulſion, donc c'eſt un effet de la vertu attractive* : il faudroit préalablement faire deux choſes, 1°. prouver que ces deux principes ſubſiſtent ; 2°. que le premier ne peut point avoir lieu dans le fait en queſtion.

Ces ſortes de phénoménes après tout, qui, ſuivant les nouveaux Newtoniens, indiquent l'attraction, ſont-

ils donc, comme ils le prétendent, aussi fréquens que ceux qui prouvent l'impulsion ? & tiennent-ils à la nature par autant d'endroits spécialement différens, qu'on pourroit se l'imaginer ?

Quand on y regarde de près, on voit que tout ce qu'on a tant de peine à expliquer par la pression des fluides environnans, ou par toute autre cause méchanique, à quelques exceptions près, se peut aisément rapporter aux tubes capillaires ; telle est l'ascension des liqueurs dans les corps spongieux, telles sont même les dissolutions, effervescences, & autres opérations chymiques, où il se fait une pénétration réciproque d'une matiére dans les pores d'une autre : que sçais-je même, si l'on ne pourroit point encore rappeller ici cette union spontanée de deux gouttes d'eau qui se confondent en une, avant qu'une cause externe & connue occasionne le contact ? car tous les corps, & sur-tout les fluides, s'exhalent en vapeurs ; ils sont environnés d'une petite atmosphère plus rare, plus poreuse que la masse, & deux gouttes d'eau, par conséquent, se touchent

avant que nous nous en appercevions.

VIII. LEÇON.

L'Ecole d'Ariſtote croyoit à l'horreur du vuide, parce qu'il lui ſembloit en voir des marques dans toute la nature ; l'adhérence des corps polis, la difficulté d'écarter les panneaux d'un ſoufflet bouché de toutes parts, l'aſcenſion de l'eau dans les pompes aſpirantes, la réſiſtance du piſton d'une ſeringue dont le bout eſt fermé, &c. dès que le poids de l'air fut connu, tous ces phénoménes que l'on avoit regardés juſques-là ſéparément comme des preuves du principe obſcur, ſe ramenerent tous facilement à la vraie cauſe. Cet événement eſt une leçon pour ceux qui croient voir partout des marques de la vertu attractive. Si toutes ces preuves prétendues, qui ſemblent dire la même choſe en tant de maniéres différentes, ſont cependant réductibles au même genre ; ſi tout ce que les partiſans des attractions ont de plus fort à citer, n'eſt que le phénoméne des tuyaux capillaires préſenté ſous différentes formes, il y a ſans doute un cercle vicieux dans leur raiſonnement : car ſi l'on ſe ſert de la vertu attractive

attractive pour expliquer les tubes capillaires, & que l'on appelle ces mêmes tubes en preuves de l'attraction; de deux choses l'une, ou l'on manque à prouver, ou l'explication porte à faux: c'est, comme l'on dit, supposer ce qui est en question. Quel est l'homme sensé qui n'ayant nulle connoissance du vent & de sa force, voudroit croire de prime abord, que c'est l'impulsion de l'air qui fait tourner tous les moulins à vent, qui transporte les vaisseaux d'un côté à l'autre de l'Océan, & qui opère tous les mouvemens de cette espéce? sur-tout s'il avoit vû toute sa vie des moulins à bras, & des bateaux traînés avec des cordes.

Mais supposons pour un moment que la vertu attractive est prouvée d'ailleurs, & voyons ce qu'elle vaudra entre les mains des plus habiles Newtoniens, pour expliquer l'effet des tubes capillaires.

» Le verre, dit-on, attire l'eau, plus » que l'eau ne s'attire elle-même: dès » que l'orifice du tube vient à la tou- » cher, elle s'éléve jusqu'à ce que son » poids fasse équilibre à la vertu at-

VIII. LEÇON.

» tractive qui réside dans la surface
» intérieure du tuyau.

» L'eau s'éléve plus haut dans les
» petits tubes que dans les gros ; parce
» que leur surface est plus grande re-
» lativement à la solidité de la co-
» lonne d'eau, & les parties du mi-
» lieu sont moins éloignées du verre
» qui les attire.

» Le mercure se tient plus bas que
» le niveau dans ces sortes de tubes,
» parce qu'étant plus dense que le
» verre, il s'attire plus lui-même que
» le tuyau ne peut l'attirer. »

A la premiére vûe l'attraction figure assez bien ici ; mais examinons la chose de plus près, & suivons les conséquences du principe qui sert de fondement à ces explications. Tous les corps pénétrables à l'eau, & qu'on doit regarder à cet égard comme des tubes capillaires, n'admettent-ils dans leurs pores, & n'élévent-ils au-dessus du niveau que les fluides moins denses qu'eux-mêmes ? La hauteur de la colonne élevée dans le tube, est-elle toujours réglée par l'excès d'attraction du verre, & par la pesanteur spécifique de la liqueur ? Ne

voit-on pas des liqueurs plus pesantes s'élever dans le même tube, plus haut que d'autres qui sont cependant plus légéres ? On sçait que l'expérience répond à ces questions, d'une maniére peu favorable à l'explication qu'on vient de voir. Mais laissons parler un des plus ingénieux * partisans de l'attraction ; voici son objection, à laquelle il est difficile de répondre.

VIII. LEÇON.

* M. Jurin. Transf. Ph. v. 255. art. 2. & n. 363. art. 2.

» C'est un fait constant que les li» queurs s'élévent dans les tubes ca» pillaires en raison inverse de leur » diamétre : ainsi la colonne élevée » au-dessus du niveau, étant d'un pou» ce de hauteur dans un tube d'une de» mi-ligne de largeur, dans un tube » une fois plus gros elle aura 6 lignes. » Mais cette derniére colonne, quoi» que plus courte, comprend plus » d'eau, comme l'on sçait, que la pre» miére ; cependant la surface du ver» re qui touche la plus menue, est plus » grande que celle qui contient l'au» tre colonne, eu égard à la quantité

* Les Dissertations de M. Jurin se trouvent à la fin des Leçons de Physique expérimentale de M. Côtes, traduites en François par M. le Monnier. A Paris, 1740.

VIII. LEÇON.

» d'eau. La force attractive n'est donc » pas proportionnelle à la surface inté- » rieure du tuyau ; ou bien, (ce qu'on » ne peut admettre ,) la même cause » n'auroit point un effet constant. »

M. Jurin après avoir fait connoître par cette difficulté , & par des expériences décisives, l'insuffisance de l'explication précédente, lui en substitue une autre. Il prétend que l'attraction du tuyau n'agit que par la partie annulaire de la surface intérieure , où se termine la colonne de liqueur. Il établit son opinion sur des expériences fort ingénieuses , & dont les apparences sont séduisantes.

Il plonge le tube *A B*, *Fig.* 15. formé de deux parties *A C*, *CB*, dont les diamétres sont fort differens. Quoiqu'un tuyau de la grosseur de *C B* , ne pût élever la liqueur qu'au point *E*, si cependant on l'emplit jusqu'en *D*, l'eau y demeure suspendue , pourvû que cette portion du tuyau soit d'un tel diamétre , qu'un tube de sa grosseur dût élever l'eau de la hauteur *B D*.

Et si l'on renverse ce tuyau comme *F G*, l'eau ne s'éléve & ne demeure suspendue qu'au point *F*, hauteur à

laquelle elle s'éléveroit par un tube qui ſeroit, dans toute ſa longueur, d'un diamétre égal à la partie *F*.

Il paroît donc par ces expériences, comme l'a remarqué M. Jurin, que ſi la hauteur des colonnes d'eau ſoutenues dépendoit de l'attraction de toute la ſurface intérieure, la liqueur ne devroit pas ſe ſoutenir plus haut que le point *E* dans la premiére; & dans la ſeconde elle excéderoit la hauteur *F*, puiſque la plus longue partie du tuyau qui la contient, eſt, par ſuppoſition, d'un diamétre propre à la faire monter d'une quantité égale à *BD*. Cette élévation, ou ſuſpenſion de liqueur, dépend donc plutôt de la partie annulaire du verre où ſe termine la colonne; puiſque la hauteur de l'eau change avec le diamétre de cet anneau.

Le ſçavant & judicieux Auteur de ces expériences, agiſſant moins par prévention pour le ſyſtême des attractions qu'il n'abandonne point, que par amour pour la vérité qu'il prefère à tout, ne diſſimule rien de ce qui peut infirmer ſon opinion; ſa premiére expérience peut être faite

VIII. LEÇON.

de façon qu'elle prouve trop, & qu'elle devient elle-même un nouveau phénoméne qui mérite d'être expliqué.

Au lieu du tube *AB*, *Fig.* 15. il emploie un entonnoir qui peut avoir un pouce & plus de largeur, & qui finit en tube capillaire, comme on le peut voir par la *Fig.* 16. Si cet entonnoir ainsi renversé, n'excéde point la hauteur à laquelle pourroit s'élever l'eau dans un tube gros comme la partie *H*, il pourra rester tout plein, comme *DB* de la précédente expérience. Si l'attraction annullaire soutient la colonne *HI*, comment la grande quantité d'eau, qui l'environne, se soutient-elle ?

On n'a pas manqué de répondre que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction de la partie voûtée c'est-à-dire, que chaque point du verre, *K*, *L*, &c. attiroit la colonne qui lui étoit soumise ; mais une nouvelle expérience détruit encore cette réponse.

Quand on donne à l'entonnoir la forme qu'il a dans la *Fig.* 17. qu'on ne le remplit qu'en partie, mais

plus cependant qu'il ne pourroit l'être, si l'eau ne s'y élevoit qu'en vertu de la propriété du tube capillaire ; si l'on touche l'orifice supérieur avec le doigt mouillé, de sorte qu'il y entre une goutte d'eau, la colonne reste suspendue, comme s'il étoit entiérement plein : ce n'est plus alors la partie convexe du verre qui l'attire.

C'est ainsi que M. Jurin combat les explications où la vertu attractive est infructueusement employée ; mais ce principe qu'il ne croit pas devoir encore abandonner, lui fournira-t-il le véritable dénouement? C'est toujours travailler utilement que de détruire les mauvaises raisons; ce sont des obstacles de moins sur les routes de la vérité. Ne perdons point de vûe cette matiére, entre les mains d'un Sçavant, qui paroît l'avoir traitée avec plus d'intelligence & de sagacité qu'aucun autre avant lui.

M. Jurin convenant avec raison, qu'on ne peut pas attribuer vraisemblablement la suspension de toute la masse d'eau dans l'entonnoir, à l'adhérence qu'elle a avec la petite

VIII. LEÇON.

colonne du milieu, qui eſt immédiatement attirée par la partie capillaire *H*; & voyant par des expériences répétées dans le vuide, que le poids de l'air groſſier n'a point de part à ces effets; M. Jurin, dis-je, avec les meilleures intentions du monde pour la vertu attractive, & toute l'habileté d'un Phyſicien accoutumé depuis long-tems aux expériences, eſt obligé d'avoir recours à la preſſion d'un *milieu aſſez ſubtil, pour pénétrer le récipient*, & qui agiſſant plus librement ſur la ſurface du vaſe, que ſur la liqueur du tuyau qui y eſt plongé, peut être la cauſe de cette ſuſpenſion au-deſſus du niveau. C'eſt bien avouer l'inſuffiſance de l'attraction, pour expliquer les propriétés des tubes capillaires; mais il ſeroit à ſouhaiter qu'on s'étendît davantage pour faire connoître comment ce milieu ſubtil que l'on admet, comprime plus librement l'eau du vaſe, que celle qui eſt contenue dans le tuyau.

M. Clairaut dans un ſçavant Ouvrage * qu'il a depuis quelque tems donné

* Théorie de la figure de la Terre, tirée des principes de l'Hydroſtatique.

au

au public, il y a environ 12 ans, fait une application fort heureuſe des principes qu'il a établis précédemment, aux phénoménes des tuyaux capillaires. Il trouve que M. Jurin n'emploie pas, dans l'examen de cette queſtion, aſſez de principes, pour en tirer une explication complette, & au lieu de s'arrêter comme lui à la ſeule attraction du petit anneau de verre qui termine la colonne de liqueur, il examine le fait ſelon les loix générales de l'Hydroſtatique, & il calcule enſuite combien l'attraction peut altérer le niveau, lorſque le tube eſt capillaire. Son réſultat ſe trouve parfaitement d'accord avec l'expérience ; mais ce qu'il y a de ſingulier, c'eſt que, ſelon la théorie de M. Clairaut, bien loin que l'effet vienne de l'attraction de la partie ſupérieure du tube, à laquelle il ſemble qu'on doive l'attribuer ſelon les expériences de M. Jurin, c'eſt au contraire la partie inférieure qui agit; celle d'en haut n'y a nulle part; ſon attraction étant contrebalancée par une pareille attraction, dans la partie moyenne du tuyau.

De tout ceci il réſulte que ces phé-

VIII. LEÇON.

noménes, ou ne ſont point encore bien expliqués, ou que les explications qu'on donne, tiennent à des hypothèſes qui ne ſont pas généralement reçues. Peut-être cela vient-il de ce qu'on s'eſt obſtiné à ne leur donner qu'une ſeule & unique cauſe : combien y a-t-il d'effets naturels qui en ont pluſieurs, & qu'on ne peut connoître par toutes les faces, qu'en les examinant ſous différens points de vue ? La preſſion inégale de quelque fluide eſt probablement le point fondamental de l'explication ; mais l'adhérence ou la viſcoſité naturelle des liqueurs, la grandeur & la figure de leurs parties, & peut-être un certain mouvement qui leur eſt propre, &c. ſont autant de moyens que la nature peut employer pour ces ſortes d'effets, & autant d'objets que nous devons conſidérer dans nos recherches. Voyez ſur cette matiére un ouvrage imprimé en 1754. chez Cavelier, & intitulé *Expériences Phyſico - Méchaniques ſur différents ſujets*, &c.

APPLICATIONS.

Quoique nous ne voyions pas bien

clairement quelle eſt la cauſe immédiate de l'élévation & de la ſuſpenſion des liqueurs dans les tuyaux capillaires, ces phénoménes bien conſtatés ne laiſſent pas d'être intéreſſans, parce qu'ils paroiſſent avoir beaucoup de part aux opérations de la nature, & que ce que nous en ſçavons, peut nous conduire à beaucoup d'autres découvertes. Souvent un fait qu'on ne peut expliquer qu'imparfaitement, devient lui-même une explication claire & diſtincte de pluſieurs autres. Nous ne ſçavons pas bien quelle eſt la vraie cauſe de la peſanteur des corps ; cependant par la connoiſſance que nous avons de ſes loix, nous ſommes en état de rendre raiſon d'une infinité de choſes, qui ſans cela ſeroient enſevelies dans une profonde obſcurité. De même quand je ſçais que les liqueurs s'élévent, malgré leur gravité, dans des canaux étroits, de quelque matiére & de quelque figure qu'ils puiſſent être, je ne ſuis plus ſurpris de trouver humides juſqu'en haut, un monceau de ſable, une pierre tendre, une buche placée debout, &c. quoique

VIII. LEÇON. ces corps ne ſoient qu'en partie plongés dans l'eau. Car, comme ils ſont poreux, l'eau y trouve des petits canaux, par leſquels elle monte, comme elle feroit dans de petits tuyaux de verre; & encore mieux, parce que dans un canal fort uni & fort droit, la liqueur oppoſe toute ſa peſanteur à la cauſe qui l'éléve; au lieu que dans les paſſages tortueux, que lui offre l'intérieur d'un corps ſolide, elle trouve des repos d'où il peut ſe faire qu'elle parte à pluſieurs repriſes, & peut-être avec de nouvelles forces.

Mais ce que nous voyons arriver en petit, ne pourroit-il pas ſe faire en grand? Le monceau de ſable mouillé juſqu'au ſommet, n'expliqueroit-il pas l'origine de certaines ſources qui ne tariſſent jamais, qui fourniſſent toujours une égale quantité d'eau, & qui ne paroiſſent redevables ni aux ſaiſons, ni aux vapeurs, ni aux autres influences de l'atmoſphère, & qui ſe trouvent dans la proximité de la mer? C'eſt une penſée aſſez plauſible, & qui a été adoptée par pluſieurs Auteurs *; cependant elle

* Plot. *Tentamen philoſophicum de origine fontium.* Derham, *Théologie phyſique. p.* 70.

perd une partie de ſa vraiſemblance, ſi l'on fait attention qu'un tube capillaire ne produit jamais d'écoulement par ſa partie ſupérieure, & que le ſable, quoique mouillé beaucoup au-deſſus du niveau de l'eau, ne l'eſt preſque qu'intérieurement, ou s'il l'eſt en-dehors, cela ne fait point ſource. VIII. LEÇON.

La buche qui ſe mouille juſques dans la partie qui n'eſt point plongée, peut faire naître quelques idées ſur le myſtère de la végétation ; on ſçait que ce qui fait croître les plantes, c'eſt la ſéve qui paſſe des racines à la tige, & de la tige aux branches ; mais quelle eſt la puiſſance qui éléve ainſi cette liqueur nourriciére, c'eſt ce qu'on ignore encore : en attendant qu'on le ſçache, ne pourroit-on pas regarder les routes qu'elle tient, comme autant de petits canaux capillaires, ou comme une continuité de corps ſpongieux, par leſquels elle ſe porte de bas en-haut, & plus ou moins abondamment, ſelon l'état actuel des ſujets qui la reçoivent.

Mais ce qu'il y a en cela de plus merveilleux, c'eſt que chaque ſorte

VIII. LEÇON.

de plantes paroît avoir sa séve particulière; car on sçait que la terre s'épuise à force de nourrir la même espéce, & qu'on la soulage, pour ainsi dire, en variant la semence sur le même fond. Comment donc dans un jardin, chaque arbre reçoit-il la nourriture qui lui est propre? Comment le pommier ne prend-il pas ce qui convient à la vigne, le myrte ce qui doit appartenir au jasmin ou au chevrefeuille?

On ne peut répondre maintenant à ces questions que très-imparfaitement, parce que nous sommes encore bien peu instruits de ce qui se passe à cet égard. Mais s'il est vrai que les canaux qui portent la séve, fassent l'office de tuyaux capillaires, il s'offre un exemple de ce genre qui pourroit être regardé comme une imitation grossiére de la nature, quant à l'objet présent. Si l'on met dans un même vase deux liqueurs fort différentes l'une de l'autre, comme de l'huile & du vin, & qu'on y plonge deux bouts de lisiére de drap, dont l'une ait été imbibée de vin & l'autre d'huile, l'une & l'autre agira comme

une éponge, mais la premiére n'enlévera que du vin, & la derniere de l'huile ſeulement. Tous les corps de ce genre ſont propres à élever les liqueurs ; mais ils ſe chargent de l'une plutôt que de l'autre, ſuivant l'analogie qu'elle a avec eux. Cette analogie conſiſte ſans doute dans la figure, la grandeur, la diſpoſition des parties, &c. chaque eſpéce de plante fait peut-être quelque choſe de ſemblable, & par les mêmes raiſons.

Il eſt vrai, je l'avoue, que l'aſcenſion des liqueurs dans un petit tuyau de verre, à quelques pouces de hauteur, comparée à l'élévation de la ſéve dans un chêne, ou dans un ſapin, laiſſe appercevoir une différence qui effraie, & qui porte à croire que ces deux effets n'ont point une ſeule & unique cauſe. Auſſi n'indiquai-je point cette comparaiſon comme une explication complette; les canaux de la ſéve ne ſont pas de ſimples tuyaux ; ils ſont organiſés; & par cette raiſon leur fonction de tubes capillaires peut avoir des effets, auſquels elle ſeroit incapable de s'étendre ſans cela. Une buche ou un arbre mort ſur pied, ne

VIII. LEÇON.

végéte plus ; ce n'eſt pas que les canaux de la ſéve y manquent, mais l'organiſation eſt détruite.

En examinant, dans la ſixiéme Leçon, comment les vapeurs & les exhalaiſons s'élévent, & ſe ſoutiennent dans l'atmoſphère, j'ai ſuppoſé que cette maſſe d'air qui couvre la ſurface de notre globe, eſt une grande éponge qui reçoit dans ſes pores toutes les parties exhalées des matiéres appartenantes à la terre ; voici ce qui peut rendre cette opinion probable.

1°. L'air eſt compreſſible ; c'eſt un fait qui n'eſt point douteux. Quelque figure qu'on accorde à ſes parties, il faut toujours convenir qu'elles ne ſont pas auſſi ſerrées les unes auprès des autres qu'elles pourroient l'être, & qu'il y a de petits intervalles qui ſe ſuivent, qui ſe touchent, & qui doivent former de petits canaux tortueux, plus ou moins capillaires dans un tems que dans un autre, ſelon la denſité actuelle de l'air, & qui peuvent ſe remplir de toute autre matiére.

2°. Les vapeurs & les exhalaiſons, quand elles ſont détachées des maſ-

ſes dont elles faiſoient partie, ſont dans l'état de fluidité ; & par cette raiſon elles ſont ſuſceptibles, comme les liqueurs, de tous les effets qui ſont propres aux tuyaux capillaires.

VIII. LEÇON.

3°. Comme les liqueurs s'élévent plus ou moins haut, ſelon l'état actuel des tubes capillaires, c'eſt-à-dire, ſelon la grandeur de leur diamétre, & l'analogie de leur propre matiére avec celles qu'ils élévent ; on peut auſſi regarder comme une choſe indubitable, que les vapeurs montent plus ou moins, ſelon la diſpoſition de l'atmoſphère.

Il ſe préſente ici une difficulté conſidérable. On ſçait, par la troiſiéme expérience, *Fig.* 14. que la liqueur s'éléve d'autant plus dans le tube capillaire, que ce tube eſt plus étroit, Les pores de l'air ſont plus ſerrés en hyver qu'en été ; il s'enſuivroit donc. ſelon mon hypothèſe, que les vapeurs doivent s'élever plus haut en hyver qu'en été, ce qui n'eſt pas vraiſemblable.

Pour plus haut, je ne le crois pas non plus : mais je paſſerois volontiers qu'elles s'élévent à-peu-près à

VIII. LEÇON.

la même hauteur en toutes saisons ; car quelles preuves avons-nous du contraire ? & le barométre étant ordinairement un peu plus haut l'hyver que l'été, il faut bien que quelque chose entretienne, & même augmente le poids de l'atmosphère ; la densité de l'air augmentée dans les saisons froides, compenseroit-elle seule la diminution des vapeurs ? Quand on voudroit le conclure, on ne le pourroit pas, en faisant attention que les évaporations sont fort abondantes, même pendant la gelée ; si ce qui s'évapore alors est logé à l'étroit dans l'air, il doit donc chercher place plus haut. D'ailleurs c'est une supposition assez généralement reçue, que la température de l'atmosphère ne varie pas, à beaucoup près, autant dans la moyenne région où s'élévent les vapeurs, qu'ici-bas à la surface de la terre ; la porosité de l'air y est donc à peu-près la même en tout tems. Or l'expérience de M. Jurin, *Fig.* 15. nous apprend que l'élevation des liqueurs dans les tubes ne dépend pas de la largeur qu'ils ont dans leur longueur, mais de celle où

ſe termine la colonne ; ainſi quelques changemens qui arrivent ici-bas à la denſité de l'air, ſi la moyenne région ne change pas beaucoup, comme on peut le ſuppoſer avec tous les Phyſiciens, la conſéquence qui ſuit de mon hypothèſe, n'eſt point une objection qui doive la faire rejetter.

4°. Comme un tube capillaire qui ſoutient une colonne de liqueur, ou comme une éponge pleine d'eau n'en puiſe point davantage, de même auſſi l'air trop chargé n'enléve plus de vapeurs ; les eaux, & en général tous les corps s'évaporent beaucoup moins par un tems humide & calme, que lorſqu'il fait un vent ſec. Dans le premier cas, l'air eſt une éponge chargée ; dans le ſecond, c'eſt une éponge vuide, & qui ſe renouvelle continuellement ſur les mêmes ſurfaces.

5°. Tous les Phyſiciens conviennent que ce qui fait tomber les vapeurs en forme de pluie, c'eſt quelque dégré de froid qui condenſe la partie de l'atmoſphére où elles regnent, & qui rapprochant les parti-

VIII. LEÇON.

cules d'eau, les unit en gouttes trop pesantes, pour être soutenues par un pareil volume d'air; cette explication qui est très-naturelle, ne détruit point du tout l'idée que je me fais de l'atmosphère: l'air qui se condense est une éponge que l'on presse; & j'attribue cette compression, non-seulement au refroidissement, qui peut être la cause la plus ordinaire, mais aussi aux vents qui resserrent les nuages, c'est-à-dire, la partie de l'air la plus chargée d'eau; & en effet la pluie, (sur-tout celle d'orage) tombe souvent par secousses, tout-à-fait semblables à l'expression d'un corps spongieux rempli d'eau.

6°. Il y a certaines pluies qui viennent tout-à-coup, par un tems calme & chaud, de maniére qu'on a peine à les concilier avec les causes dont nous venons de parler; il me paroît qu'elles s'expliquent assez bien dans mon hypothèse. Quand un tube capillaire a élevé l'eau à deux pouces, en vertu d'un diamétre qui n'a qu'un quart de ligne, s'il devenoit plus large de moitié, par exemple, on conçoit bien que l'eau n'y demeureroit

VIII. LEÇON.

pas à la même hauteur; une éponge qui contient des particules d'eau les laisseroit échapper, si par quelque moyen que ce pût être, on la dilatoit au-delà de son état naturel. Qu'un rayon de soleil direct, ou réfléchi, vienne à échauffer, & par conséquent à raréfier une partie de l'atmosphère chargée de vapeurs en suffisante quantité, ces petites masses abandonnées à leur propre poids, commenceront à tomber, & s'uniront en forme de pluie pendant leur chûte. Cette explication paroît même confirmée par l'expérience; car lorsqu'on commence à raréfier, avec une machine pneumatique, l'air qui est contenu dans le récipient, on ne manque pas d'y appercevoir une vapeur, qui tombe comme une pluie fine sur la platine. *

* *Mem. de l'Acad. des Scienc.* 1740. p. 243.

En attribuant à l'atmosphère les propriétés des tubes capillaires, il semble qu'on s'interdise, touchant ces phénomènes, toute explication fondée sur la pression d'un fluide environnant, ce qui paroît être pourtant la principale source des lumières que nous avons à attendre sur cette

VIII. LEÇON.

matiére encore obſcure : car ſi la maſſe de l'air agit comme les tuyaux capillaires , on ne peut plus ſonger à faire valoir ſa preſſion, pour rendre raiſon de cet effet.

Cette conſidération doit rendre circonſpect, mais elle ne doit jamais empêcher de recevoir une vérité qui ſeroit bien prouvée : en ſecond lieu, les expériences faites & répétées dans le vuide par un grand nombre de Phyſiciens , leur ont fait avouer d'un commun accord, que l'air groſſier, dont il s'agit ici, ne contribue en rien aux phénoménes en queſtion : & en abandonnant le poids de ce fluide dans la queſtion préſente, nous ne rejettons nullement un autre milieu plus ſubtil aſſez généralement avoué, & qui peut avoir ſes fonctions à part.

ARTICLE II.

Sur les cauſes de la fluidité & de la dureté des corps.

En définiſſant les fluides dans la Leçon précédente, je les ai repréſentés, comme des amas de petits corps ſolides, aſſez mobiles les uns à l'é-

gard des autres, pour se séparer au moindre choc. Beaucoup de Physiciens prétendent que ce n'est point assez d'attribuer une grande mobilité aux parties des fluides & des liqueurs; on veut, par des raisons assez plausibles, qu'elles soient non-seulement très-disposées à se mouvoir, mais qu'elles se meuvent en effet. Les uns cependant plus retenus que les autres sur ce prétendu mouvement, n'en admettent qu'autant qu'il en faut pour expliquer certains phénoménes, dont ils croient qu'on auroit peine à rendre compte sans cette supposition : ils donnent à ce mouvement intestin des liqueurs toutes sortes de directions imaginables, & en même tems si peu d'étendue, qu'il ne va point jusqu'à déplacer sensiblement les parties. Ce sont les bornes où se contiennent la plûpart de ceux à qui les observations & les expériences sont plus familiéres que les systêmes. Alors cette espéce d'agitation actuelle des fluides ne diffère guère de celle que la chaleur naturelle entretient dans les solides; & si ce mouvement est la cause immédiate de certains effets qui

VIII. LEÇON.

ſont propres aux liqueurs, je ſuis bien tenté de croire que ce n'eſt qu'en conſéquence de la grande mobilité des parties qu'il anime. Je m'explique par un exemple. Une maſſe de terre ſe diſſout plus aiſément dans de l'eau, (fût-elle prête à gêler,) que dans la neige, qui n'auroit de froid qu'autant qu'il lui en faut pour ne pas fondre. Eſt-ce un excès de mouvement dans les parties de l'eau comme liquide, qui fait cette différence ? n'eſt-ce pas plutôt trop peu de mobilité dans celles de la neige ? Tant que l'eau eſt liqueur, le dégré de chaleur qu'elle a, appartient à des parties libres, & qui par cette eſpéce d'indépendance réciproque, ſuivent leurs déterminations particuliéres, & pénétrent les pores du corps diſſoluble : ce n'eſt point la même choſe dans la neige, dont les molécules ſont liées ſous la forme de petits glaçons; elles ſont déterminées, comme celles de l'eau, vers les pores qui leur ſont ouverts; mais pour y entrer il faudroit qu'elles ſe partageaſſent en volumes proportionnés aux ouvertures, & ſi le mouvement qu'on leur ſuppoſe, ne

va

va pas jusqu'à causer & entretenir leur division, il ne doit pas avoir le même effet que dans l'eau ; mais toute la différence, comme l'on voit, ne vient que d'un défaut de mobilité suffisante dans les parties.

Je croirois donc volontiers, que les liqueurs n'ont point en elles-mêmes un mouvement particulier qui les rende telles ; mais qu'elles sont dans cet état seulement, parce que leurs parties sont extrêmement mobiles entr'elles. L'objet de cet article est donc de faire connoître, autant que nous le pourrons, ce qui peut entretenir cette mobilité respective ; & comme être dur est l'état opposé à celui de liqueur, les causes de l'un doivent nous indiquer celles de l'autre. Voyons d'abord pourquoi certains corps sont durs, par quelles raisons d'autres le sont moins, & enfin comment il se peut faire qu'ils ne le soient pas sensiblement. Par cette division, nous embrassons tous les différens dégrés de consistance qui conviennent à la matiére, *dureté*, *mollesse*, *fluidité*, *liquidité*.

Il ne s'agit point ici d'une dureté

VIII. LEÇON.

parfaite, telle qu'elle conviendroit, par exemple, aux parties insécables & élémentaires, aux atômes. Ce qui fait présentement l'objet de nos recherches, c'est cette cohérence qui constitue une masse solide, qui s'oppose à sa division, mais qui peut toujours céder à une force finie; telle est celle du bois, des pierres, des métaux, &c.

Si les corps n'étoient durs qu'à l'extérieur; si les piéces qui composent leur solidité, étoient assez grandes pour nous laisser appercevoir leurs figures, & le rapport qu'elles ont entr'elles; si rien de tout ce qui est matériel ne pouvoit échapper à nos sens, nous pourrions peut-être nous flatter de donner une explication directe des phénoménes en question. Mais les corps sont solides intérieurement comme à l'extérieur, & leurs molécules les plus subtiles ne le sont pas moins que la masse totale; ainsi la cause de cette cohérence agit sur des sujets qui échappent à nos yeux, & dans des endroits où nous ne pouvons la suivre. Ce n'est donc que par analogie & par con-

jecture, que nous en pouvons juger: cette voie n'est pas la plus sûre pour arriver au vrai; mais on peut se la permettre lorsqu'on n'en a pas de meilleure; & quand on en use avec retenue, elle peut conduire à des découvertes.

III. PROPOSITION.

Plusieurs corps peuvent s'attacher ensemble par la pression d'un fluide qui les couvre, ou qui les environne de toutes parts.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La piéce *A*, *fig.* 18. est un morceau de liége cylindrique, dont la base est garnie d'une virole, & d'une platine de cuivre mince & bien droite, de maniére que le tout ensemble pese moins que de l'eau. *B* est une piéce semblable pour la forme, mais qui est entiérement de métal. On enduit les deux plans d'une légère couche d'huile d'olives; & après les avoir appliqués exactement l'un sur l'autre, on les place comme *a*, *b*, au fond d'un grand vase que l'on remplit d'eau.

VIII. LEÇON.

EFFETS.

Quoique la piéce *a* ſoit plus légère qu'un pareil volume d'eau, & que cette légéreté reſpective la ſollicite à ſe ſéparer de la piéce *b*, qui eſt retenue par l'excès de ſon poids au fond du vaiſſeau, cependant elle y demeure conſtamment attachée.

EXPLICATIONS.

Cet effet vient de ce que la colonne d'eau qui repoſe perpendiculairement deſſus, n'eſt point contrebalancée par aucune autre qui agiſſe deſſous, à cauſe de l'union étroite des deux ſurfaces. Ce qui prouve que cette raiſon eſt la véritable, c'eſt que ſi l'on enduit d'eau ces deux piéces, au lieu d'huile, pour les joindre, lorſqu'on les remet en expérience, la maſſe d'eau dont on les couvre, ne manque pas de les déſunir, parce qu'elle s'introduit entre les deux, n'y trouvant plus qu'une matiére ſemblable qui ne lui fait point obſtacle, comme une liqueur graſſe.

II. EXPERIENCE.

VIII. LEÇON.

PREPARATION.

C, *D*, *Fig.* 19. ſont deux boîtes de cuivre dans leſquelles on a maſtiqué deux plaques de marbre bien dreſſées, ou deux glaces de miroir bien épaiſſes. Sur la virole de la boîte *C*, on a pratiqué quatre petits canons à égales diſtances l'un de l'autre, pour recevoir autant de petites broches de bois, que l'on fait excéder le plan de marbre, quand il en eſt beſoin.

EFFETS.

1°. Lorſqu'on a mouillé les deux marbres, & qu'on les a appliqués l'un contre l'autre, en les frottant un peu, pour rendre l'application plus exacte, & pour en chaſſer toutes les particules d'air qui pourroient y être, ces deux plaques ſe ſéparent facilement ſi l'effort ſe fait parallélement à leurs plans.

2°. Mais ſi lorſqu'ils ſont joints l'on enfonce les petites broches de bois pour empêcher qu'ils ne gliſſent, ou qu'on les tire perpendiculairement à

leurs faces, il faut employer une force très-considérable pour les séparer.

VIII. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Cette expérience qui est fort ancienne, étoit autrefois une des preuves sur lesquelles on appuyoit l'horreur du vuide ; mais depuis qu'on a reconnu l'abus de ces mots qui ne signifioient rien, on l'a expliquée méchaniquement, par la pression de l'air qui environne les deux plans appliqués. On sçait que les fluides pésent en tout sens ; cette pesanteur est une force qui doit avoir son effet, si quelque action ou puissance contraire ne la tient en équilibre ; ces deux plans unis ensemble, & soumis au poids de l'atmosphère, ne doivent se porter ni d'un côté ni d'un autre, parce qu'ils sont également pressés de toutes parts. Mais chacun d'eux est poussé contre son pareil, & doit y rester attaché, parce qu'il n'y a point entre les deux plans de réaction qui s'oppose au poids de l'air extérieur. C'est par une semblable raison, que les enfans enlévent des

pierres avec une rondelle de cuir mouillé qu'ils appliquent & qu'ils tirent avec une corde. Un parapluie étendu & renversé contre un terrein uni, fait encore une résistance très-sensible quand on le tire brusquement; & l'on court risque de rompre une glace qu'on enléve perpendiculairement au plan sur lequel elle repose, s'il est fort uni.

Il n'y auroit rien à objecter à cette explication, si nos deux marbres, après avoir été joints dans l'air, se séparoient d'eux-mêmes dans le vuide, comme on le dit communément; mais il faut avouer que quand on procéde avec exactitude, & qu'on évite tous les mouvemens étrangers qui peuvent aider la séparation, il arrive très-souvent que l'union subsiste encore, après qu'on a raréfié l'air, autant qu'il est possible de le faire, avec la machine pneumatique la plus exacte. L'adhérence des deux marbres ne fait que diminuer pour l'ordinaire, elle ne cesse pas entiérement, & le dégré de force qui lui reste, & que j'ai tâché de mesurer par des poids, m'a paru dépen-

VIII. LEÇON.

dre beaucoup de la nature des plans, de leurs dimenſions, & des matiéres interpoſées pour les unir. Voyez la *Figure* 20.

* *Recueil de l'Acad. des Scienc. tom.* X. *pag.* 529.

Cet effet mérite d'autant plus d'attention, qu'il a lieu non ſeulement pour les corps ſolides, mais auſſi pour les liqueurs. M. Hughens * remarqua le premier, que l'eau demeuroit dans le vuide beaucoup plus haut que ſon niveau, & que ce qu'il s'en falloit ne pouvoit être attribué à la petite quantité d'air qu'une bonne pompe laiſſe néceſſairement dans le récipient. Boyle après lui reconnut la même choſe, & pouſſa l'expérience juſqu'à ſoutenir 75 pouces de mercure dans le tube de Toricelli, c'eſt-à-dire, 47 pouces de plus que le poids de l'atmoſphère ne peut ſoutenir. Une circonſtance qu'il eſt eſſentiel de remarquer, c'eſt que les liqueurs ne demeurent ainſi ſuſpendues, que quand elles touchent immédiatement le haut du vaiſſeau dans lequel elles ſont; car le moindre petit vuide, ou la plus petite bulle d'air qui s'y rencontre ne manque jamais d'empêcher ou de faire ceſſer cet

cet effet ; de ſorte qu'il ne faut point s'attendre de voir une colonne de mercure de 75 pouces, élevée au-deſſus de ſon niveau dans un tube plus long que cette meſure.

M. Hughens cherchant une explication à ces ſortes de phénoménes, je veux dire à l'adhérence des deux marbres, & à la ſuſpenſion des liqueurs dans le vuide, ſuppoſe, qu'outre l'air groſſier qui environne tous les corps, & qui agit par ſon poids ſur leurs ſurfaces, il y en a encore un autre plus ſubtil qui paſſe où le premier ne peut pénétrer, & à qui les pores mêmes du verre fourniſſent des paſſages aſſez libres, & que c'eſt à la preſſion de ce milieu qu'il faut attribuer une infinité d'effets que nous avons continuellement ſous les yeux, & qu'il eſt impoſſible d'expliquer par l'action de cet air plus connu, dont l'abſence ou l'extrême raréfaction ſe nomme improprement le *vuide*.

Quant à l'exiſtence d'un tel fluide, il y a bien peu de Phyſiciens qui ne l'admettent ; & dans le petit nombre de ceux qui s'obſtinent à la nier, on doit être ſurpris, quand il s'en ren-

VIII. LEÇON.

contre quelques-uns, à qui l'on ne peut contester le génie d'observation & l'habitude des expériences; car alors on ne peut pas supposer qu'ils ignorent les faits qu'on peut citer en faveur de cette prétention. Celui de tous les Philosophes modernes aux opinions duquel il semble que le vuide convînt le mieux, M. Newton, n'a point refusé de reconnoître *un milieu beaucoup plus subtil que l'air, lequel milieu*, dit-il, *reste dans le vuide, après qu'on en a pompé l'air.* On voit par l'usage qu'il en fait, par l'étendue qu'il lui donne, par les fonctions qu'il lui attribue, combien il croyoit que cette matiére pouvoit avoir de part dans les opérations les plus secrettes de la nature. M. Jurin, plus exactement Newtonien que la plûpart des partisans de la vertu attractive, ne fait nulle difficulté, comme nous l'avons vû ci-dessus, d'adopter cet air subtil, lorsqu'il trouve l'attraction en défaut; & pour s'épargner la peine d'en prouver l'existence, il s'appuie sur les citations que je viens de rapporter.

* *Traité de l'Opt. liv.* 3. *quest.* 18. & *suiv.*

Si ce milieu résistant est reconnu

par ceux-mêmes à qui il convenoit le mieux de combattre le ſyſtême du plein, il ſeroit ſuperflu de s'arrêter à prouver combien il eſt digne d'être reçu par-tout Phyſicien qui n'admet que des cauſes méchaniques ; il ſuffira de dire que depuis Deſcartes, la régle la plus généralement obſervée, a été de chercher à expliquer par le choc ou l'impulſion des fluides inviſibles, tout ce qui ne peut l'être par l'action de l'air ſenſible, ou des autres corps dont nous pouvons voir les opérations.

Ce qui révolte ordinairement ceux qui prennent un autre parti, c'eſt la fécondité des effets, le grand nombre de propriétés qu'on ſuppoſe dans le détail des phénoménes, à une matiére dont l'exiſtence ſent encore l'hypothèſe.

Il eſt vrai que quelques Philoſophes ont donné carriére à leur imagination, pour expliquer les diverſes fonctions de ces fluides ſubtils : mais quand Deſcartes ſe ſeroit trompé ſur le nombre, & qu'il y en auroit plus ou moins que de trois ſortes ; quand les mouvemens particu-

VIII. LEÇON.

liers de leurs parties seroient toute autre chose que les petits tourbillons imaginés par le P. Malbranche, & soutenus par M. l'Abbé de Molieres *; en un mot, quand on pourroit regarder comme des systêmes hazardés, tout ce qu'on a dit touchant la maniére d'être & d'agir de cette matiére qui peut être par-tout où les autres fluides plus grossiers n'ont plus d'accès, s'ensuivroit-il que son existence fût aussi douteuse ? On est parfaitement d'accord à présent qu'il y a une matiére qui nous éclaire, & qui nous fait voir les objets. Seroit-on en droit de la contester, parce qu'il y a différentes opinions sur la nature de ses parties, & sur la propagation de ses mouvemens ?

* *Leç. de Phys. expliq. au Collége Royal.*

Au reste retenons notre imagination, comme il convient, dans un Ouvrage où nous nous sommes proposés de n'instruire que par des faits ; en admettant l'air subtil avec presque tous les Physiciens, ne lui attribuons que ce que les phénoménes paroîtront indiquer d'une maniére distincte ; & ne supposons que ce que l'analogie la plus simple & la plus conséquente pourra nous permettre.

L'air ſubtil ſe fait ſentir dans le vuide de Boyle ; il paſſe donc à travers les pores du verre ; on peut préſumer qu'il pénétre de même dans tous les corps ſolides.

Mais cette premiére propriété ne le rend-elle pas incapable des effets qu'on lui attribue ? Peut-il contenir un marbre contre un autre, s'il paſſe librement à travers les deux corps ? Peut-il ſoutenir de l'eau ou du mercure, s'il pénétre par le haut du vaſe ou du tuyau qui contient l'un ou l'autre de ces deux liquides ?

Cette objection eſt grande, ſans doute ; mais on y répond, & d'une maniére ſatisfaiſante, en diſant que l'air ſubtil appliqué à la ſurface d'un corps, n'eſt admis qu'en partie dans les vuides qu'il y trouve, & qu'il agit du reſte ſur les parties ſolides qui s'oppoſent à ſon paſſage, & qui deviennent autant de points d'appui. Tout ce qui peut en arriver, c'eſt que les corps les plus poreux échappent davantage à ſon action, & qu'il en réſulte une moindre adhéſion, ce qui eſt aſſez conforme à l'expérience. Car de deux plaques de métal que

VIII. LEÇON.

j'avois préparées pour être jointes ensemble, comme les deux marbres de l'expérience précédente, j'en ai percé une de plusieurs trous & à plusieurs fois, & j'ai remarqué que l'adhésion diminuoit, à mesure que j'interrompois davantage la continuité de la surface.

Si l'on demande maintenant comment l'air subtil soutient dans le vuide une liqueur au-dessus de son niveau, nonobstant la porosité du verre qui lui permet de passer par le haut du tube : je répondrai que l'action de ce fluide est parfaitement libre sur la surface du vase *A B*, mais qu'elle est interrompue en-haut, par les parties solides du verre, ce qui donne de l'avantage à la pression d'en-bas.

Il est vrai que les colonnes intermédiaires *e*, *f*, qui répondent à chacun des pores du verre, sont soumises à l'action du fluide, & qu'étant ainsi entre deux pressions à peu près égales, leur propre poids les sollicite à tomber. Mais elles sont retenues par le frottement & l'adhérence des colonnes qui les entourent & qui les pressent, comme elles le sont elles-

mêmes par l'air ſubtil; car cet air, en vertu de ſa fluidité, péſe en toutes ſortes de directions, & le tuyau eſt poreux dans toute ſa longueur, comme il l'eſt en la partie convexe de ſon extrémité.

APPLICATIONS.

Les explications que nous venons de donner de l'adhérence des deux marbres, & de la ſuſpenſion des liqueurs au-deſſus de leur niveau dans le vuide de Boyle, nous indiquent d'une maniére aſſez vraiſemblable les cauſes immédiates de la dureté & de la fluidité des corps. S'il y a un air ſubtil qui les pénétre, & qui porte ſon action au-dedans comme au-dehors; ſi cette action a priſe ſur des parties ſolides auſſi minces, auſſi peu étendues que le ſont celles des liqueurs, n'a-t-on pas tout lieu de croire que ce même fluide retient l'une contre l'autre les piéces aſſemblées ſous le même volume, & que l'adhérence qui réſulte de ſa preſſion, devient plus ou moins forte, ſelon la figure des parties qui ſe touchent, la grandeur des ſurfaces, le plus ou le

moins d'exactitude du contact, &c.

VIII. Leçon.

On doit concevoir que s'il y avoit une matiére dont les parties les plus ſimples fuſſent taillées de maniére à ſe joindre immédiatement, ſans laiſſer entre elles aucun intervalle, toute la preſſion de l'air ſubtil agiroit en dehors de cet aſſemblage ; il faudroit, pour le déſunir, employer une force ſupérieure au poids de ce fluide environnant ; & qui ſçait quelle devroit être cette force ?

Mais un tel aſſemblage eſt un être de raiſon : tous les corps ſont poreux, il n'y a que du plus ou du moins : les piéces qui les compoſent ne ſont jointes qu'en partie, & les vuides qui reſtent entre elles ſont remplis, ſans doute, de ces fluides dans leſquels les corps ont été formés : car pourquoi ſeroient-ils abſolument vuides ? Les concrétions qui ſe font dans l'eau, ne ſont-elles pas toujours humides intérieurement ? Et ne voyons-nous pas ſortir de toutes ſortes de matiéres une très-grande quantité d'air, lorſqu'on fait ceſſer les cauſes qui l'y retiennent ? Il y a donc de l'air ſubtil dans tous les corps, &

il y en a d'autant plus, que leur porosité est mieux proportionnée à la subtilité de ce fluide ; car il pourroit se faire qu'un corps plus compacte contînt autant ou plus d'air subtil qu'un autre corps plus poreux, si celui-ci admettoit avec ce fluide, quelque chose de plus grossier, comme l'air ou l'humidité de l'atmosphère.

Plus il y a d'air subtil dans l'intérieur d'un corps, moins ce corps est dur ; parce qu'alors les parties solides qui le composent, se touchent par moins de surface, & que la pression du dehors est plus soutenue par celle que le fluide transmet au-dedans. Quand la cire, par exemple, s'amollit sensiblement, c'est que l'air subtil dont elle est pénétrée, dilaté par la chaleur, dilate de même les espaces qu'il occupe ; & comme ces espaces ne peuvent s'augmenter que par l'écartement des parties solides qui les entourent ; le contact de celles-ci devient plus rare, leur jonction moins exacte, leur cohérence moins forte.

La dilatation des pores non-seule-

ment fait augmenter la pression que l'air subtil transmet au-dedans des corps, en lui fournissant une base plus large, mais elle fait naître des communications d'interstices à interstices : tel pore isolé entre des parties solides, s'ouvre & laisse un accès libre au fluide qui les sépare ; de-là il arrive des divisions & des subdivisions, qui font paroître la masse totale, sous différens dégrés de mollesse, jusqu'à ce qu'enfin les parties divisées, autant qu'elles peuvent l'être par l'état actuel du fluide, & ne se touchant presque plus, sont disposées à se mouvoir indépendamment les unes des autres, ce que l'on appelle *être liquide*.

Mais comme tous les corps ne sont point également poreux, que leurs parties n'ont point la même figure, & qu'elles se touchent & s'arrangent d'une infinité de maniéres différentes, aussi le dégré de dureté n'est pas la même dans tous, & ne se perd pas avec la même facilité. La chaleur qui regne ordinairement dans nos climats, suffit pour faire couler l'eau ; il en faut davantage pour rendre la

cire liquide, & beaucoup plus encore pour mettre les métaux en fuſion.

Quand les corps ſont parvenus à l'état de liquidité, les parties intégrantes conſervent leur dureté naturelle, parce qu'elles ſont comprimées de toutes parts, & qu'elles n'ont rien au-dedans d'elles-mêmes qui s'oppoſe à cette preſſion du fluide environnant.

Je ne prétends point pour cela qu'elles ſoient indiviſibles, ni même inflexibles abſolument. Les élémens qui les compoſent, comme les deux marbres polis, peuvent peut-être gliſſer parallélement à leurs plans, changer de figure, & même ſe ſéparer.

Mais ce que je dis ici pour les parties, ne devient-il pas une objection contre la dureté totale du volume; ſi pluſieurs lames gliſſent aiſément, & ſe ſéparent de même, quand on les tire parallélement à leurs plans, ne ſemble-t-il pas que la preſſion de l'air ſubtil ne devroit rendre les corps durs que dans un ſens, & relativement à une force employée ſeulement dans une direction perpendiculaire au plan de contact?

Cette objection auroit toute ſa for-

VIII. LEÇON.

ce, s'il s'agiſſoit d'un corps qui n'eût que deux ou trois parties ſolides, couchées parallélement les unes ſur les autres ; mais cette ſuppoſition n'a pas lieu, même dans les plus petits volumes de matiére. Combien de piéces au contraire n'attribue-t-on pas à ces petites portions de matiére, que l'art, & la nature même ne diviſe plus ? & que de poſitions différentes ne peut-on pas croire qu'elles affectent? Prenons pour exemple cet aſſemblage groſſier qui eſt repréſenté par la *Fig.* 22. Il eſt vrai que la piéce *a* gliſſeroit avec facilité dans la direction *a d*, ſi elle ne tenoit qu'aux deux autres piéces *b*, *c*; mais ce mouvement eſt perpendiculaire aux ſurfaces d'*f* & d'*e*, & pour l'en ſéparer, il faut vaincre la preſſion qui la retient. La piéce *g* pourroit de même ſe mouvoir facilement vers *a*, ſi ſon adhérence en *h* ne s'y oppoſoit. On peut juger par-là de ce qui arrive dans la compoſition naturelle des corps, où le grand nombre des parties, & les différens ordres qu'elles prennent, font naître la dureté en toutes ſortes de directions.

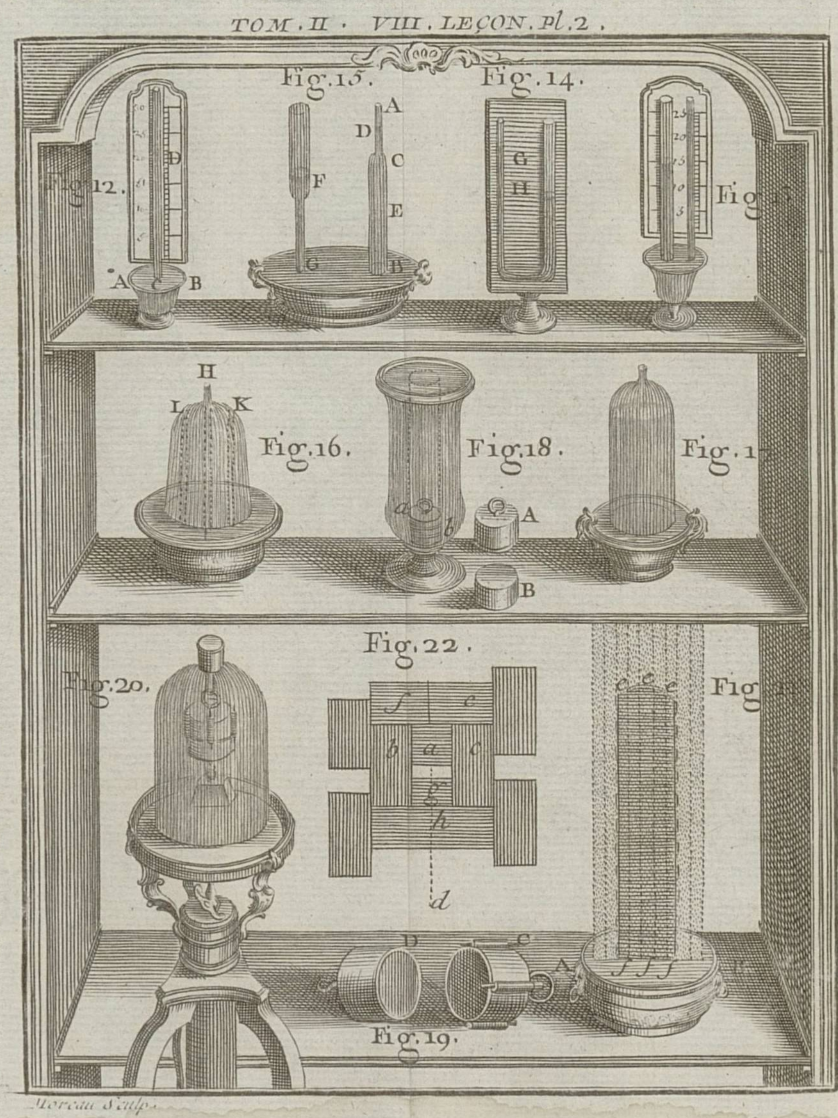
De cette réponſe même il naît une

autre difficulté qu'il faut prévenir. Si les corps, dira-t-on, ne ſont durs de tous côtés, que parce qu'ils ſont composés d'un grand nombre de parties différemment arrangées, il devroit s'enſuivre que la dureté en tous ſens diminue, à meſure qu'on diviſe les corps, & que les plus petites maſſes ſont plus faciles à diviſer que les plus grandes; ce qui eſt bien contraire aux idées que l'on a de la diviſibilité des corps, qui paroît être d'autant plus difficile, qu'elle eſt portée plus loin.

1°. Il ne s'agit point ici du plus grand nombre, il ne faut qu'un nombre ſuffiſant de parties, & arrangées de façon qu'il y ait toujours quelqu'une de leurs ſurfaces appliquées perpendiculairement à la direction d'une force extérieure, employée pour les déſunir; & l'on ne peut citer aucune diviſion pratiquée, ou praticable, qui nous interdiſe cette ſuppoſition, l'idée que l'on a, & que l'on doit avoir en Phyſique, du nombre prodigieux de parties contenues ſous le plus petit volume de matiére, qui puiſſe être ſoumis à nos épreuves, doit nous mettre à couvert de tout reproche à cet égard.

VIII. LEÇON.

2°. Quand il feroit vrai que les corps infiniment petits fuſſent compoſés de parties plus diſpoſées à la diviſion, ſoit parce qu'elles préſentent moins de ſurface à la preſſion extérieure qui les contient, ſoit parce qu'un arrangement plus ſimple leur permet de gliſſer l'une ſur l'autre ; comment le ſçaurions-nous ? Nous jugeons de la dureté des corps par la difficulté que nous éprouvons à les diviſer : à meſure que les moyens nous manquent pour opérer cette diviſion, fût-elle plus facile en elle-même, c'eſt-à-dire, de la part du corps diviſible, nous en jugeons autrement, & ce corps nous paroît d'autant plus dur, que nos efforts ont moins de priſe ſur lui. Lorſque nous ſéparons deux marbres adhérens, en les faiſant gliſſer l'un ſur l'autre, la facilité avec laquelle ſe fait cette ſéparation, vient-elle de ce que ces deux corps, proportion gardée, ont moins d'adhérence enſemble, que d'autres corps très-petits & appliqués de même ? Ne vient-elle pas plutôt de ce que nous pouvons facilement y appliquer des forces qui les tirent en ſens con-


TOM. II. VIII. LEÇON. Pl. 2.
Fig. 12.
Fig. 15.
Fig. 14.
Fig
Fig. 16.
Fig. 18.
Fig. 1
Fig. 20.
Fig. 22.
Fig
Fig. 19.
Moreau Sculp.

traires? Ainſi la dureté des corps, que nous regardons comme actuellement indiviſibles, pourroit bien n'être qu'égale, & peut-être inférieure à celle d'une plus grande maſſe de la même matiére, quoiqu'à notre égard elle ſoit exceſſive, parce que nous ne connoiſſons aucun agent qui puiſſe les entamer.

Les deux états oppoſés, je veux dire, la ſolidité & la fluidité, dépendent donc de la même cauſe; c'eſt l'air ſubtil qui fixe les parties d'une matiére, lorſque ſa preſſion extérieure excéde la réaction qu'il fait en-dedans; & c'eſt ce même fluide qui rend & entretient les parties mobiles, en s'introduiſant entre elles en ſuffiſante quantité. C'eſt pour cela ſans doute que toutes les matiéres, qui paſſent d'un état à l'autre, changent de grandeur; car puiſqu'un corps ſolide devient fluide, par l'introduction d'une matiére étrangère qui le pénétre en plus grande quantité, & qu'il ne revient à ſa premiére conſiſtance, que quand cette matiére ceſſe de le dilater; il eſt bien naturel qu'il occupe plus de place étant liquide, que lorſ-

VIII. LEÇON.

qu'il eſt ſolide. C'eſt auſſi ce qui arrive ordinairement, & j'en ferai connoître des exemples très-curieux en traitant du feu. C'eſt-là la régle générale ; elle a pourtant quelques exceptions remarquables, dont je parlerai ailleurs.

Des matiéres qui tiennent leur liquidité de l'air ſubtil, la communiquent par elles-mêmes à des corps ſolides. L'eau, par exemple, amollit la terre, & la convertit en boue : elle déſunit les parties du ſel, du ſucre, &c. L'eſprit-de-vin & les huiles diſſolvent les gommes & les bitumes; le mercure s'amalgame avec le plomb, l'étain, l'or & l'argent; mais comme la fluidité n'eſt qu'une maniére d'être, auſſi-tôt que la cauſe ceſſe, que le diſſolvant s'évapore, ce qu'il avoit rendu fluide revient ordinairement à ſa premiére conſiſtance.

Tous ces effets ſont autant de moyens que les arts ont ſçû tourner à leur profit ; je n'en veux citer que deux exemples.

La dorure qu'on nomme *d'or moulu*, eſt certainement la plus belle & la plus durable de toutes celles qui

ſont

ſont en uſage. C'eſt de l'or extrêmement diviſé, dont les parties ſont comme enchaſſées dans les pores mêmes du métal, ſur lequel on l'a appliqué ; & voici comment cela s'exécute. On met une certaine quantité d'or fin dans du mercure ; ces deux métaux s'uniſſent de maniére que l'un communiquant une partie de ſa fluidité à l'autre, ce mêlange devient comme une pâte qu'on nomme *amalgame* : on applique & l'on étend cette préparation ſur la piéce qu'on veut dorer, & enſuite par l'action du feu on fait évaporer le mercure, l'or qui eſt fixe demeure ; & les pores du métal doré, qui ſe ſont dilatés par la chaleur, & qui ſe reſſerrent en ſe refroidiſſant, retiennent, comme autant de petits chatons, les parcelles d'or qui s'y ſont placées.

La gomme lacque, le ſandarac, le maſtic en larmes, &c. ſe diſſolvent, & s'étendent dans l'eſprit-de-vin ; le karabé ou ſuccin, & la gomme copal s'amolliſſent & ſe fondent dans l'huile de lin, & s'étendent enſuite dans l'huile graſſe & l'eſprit de térébenthine. Toutes ces diſſolutions qu'on

VIII. LEÇON.

nomme *vernis*, s'appliquent ſur le bois, ou ailleurs ; & lorſque le diſſolvant eſt évaporé, les gommes qu'il avoit rendues liquides, reprennent leur dureté & leur brillant.

On voit donc par ces exemples, que la liquidité ne change rien par elle-même à la nature des corps. Si leur cohérence eſt telle, qu'elle ne puiſſe céder qu'à une action violente de la part du diſſolvant, il peut ſe faire qu'il leur enléve quelque partie de leur ſubſtance ; mais c'eſt un accident, & non pas une ſuite néceſſaire de la liquidité en général.

Il y a des cas où l'on voit ceſſer ou diminuer la liquidité, ſans que la cauſe qui l'avoit fait naître, paroiſſe ceſſer d'agir. Deux liqueurs mêlées enſemble, prennent tout d'un coup une conſiſtance plus ou moins grande, quoiqu'on n'y remarque aucun dégré de refroidiſſement ſenſible ; cet effet, qu'on appelle communément *coagulum*, peut s'expliquer, en ſuppoſant que les parties ſont de telles figures, qu'elles s'embarraſſent réciproquement, & qu'elles font ceſſer entr'elles cette mobilité en quoi con-

siste principalement l'état de liqueur. Le plus beau *coagulum* que je connoisse, c'est celui qui se fait avec l'huile de chaux & l'huile de tartre par défaillance ; quand on remue un peu ce mêlange avec une petite espatule, il se convertit en une masse blanche, à qui l'on fait prendre la forme que l'on veut, & qui se durcit comme de la cire. On coagule aussi un esprit volatil urineux fort subtil, avec de l'esprit-de-vin bien rectifié ; le blanc d'oeuf, avec l'esprit de sel ; le sang, avec de l'eau de vie. Cette derniére expérience apprend de quelle importance il est d'user sobrement des liqueurs spiritueuses, puisqu'elles sont capables d'altérer la fluidité du sang.

Quelque vraisemblable que puisse paroître l'explication de la dureté & de la fluidité des corps, établie sur l'action d'un fluide presque généralement reconnu, quoique sous différens noms ; je ne dois pas dissimuler cependant que plusieurs Physiciens refusent de l'admettre, & lui en substituent un autre : « L'attraction » réciproque des particules de ma- » tiére, disent-ils, est très-grande,

VIII. LEÇON.

» lorsqu'elles se touchent ; mais hors » du point de contact, elle décroît » tellement, qu'à la plus petite distan- » ce sensible, elle se convertit en for- » ce répulsive. * Les corps sont soli- » des, tant que la vertu attractive » de leurs parties est plus forte que » la vertu répulsive que la chaleur » leur donne ordinairement : mais ils » s'amollissent à mesure que la vertu » répulsive devient plus forte, de sor- » te que quand cette force l'emporte » sur l'attraction, non-seulement la » masse devient liqueur, mais elle se » convertit souvent en un fluide qui » s'évapore *. »

* s'Graves. Phys. Elem. Mathem. p. 18. Edit. de 1742.

* Ibid. p. 662.

M. s'Gravesande, & ceux qui, comme lui, suivent exactement l'esprit de M. Newton, ne donnent ces loix que comme des phénoménes : *Hoc nomine phenomenon, non causam designamus* *. Ils ne font nulle difficulté d'avouer que ces sortes d'effets peuvent venir de quelque impulsion : *Et si fortè hoc per impulsum fiat* *. Et nous ne devons pas douter qu'ils ne reçoivent la pression de l'air subtil & ses effets, au moins comme une hypothèse très-probable. Les préten-

* Ibid. p. 18.

* Ibid.

tions des Cartésiens ne vont guère au-delà ; ainsi l'on peut dire qu'ils sont à peu-près d'accord avec ces premiers défenseurs des attractions.

Quant à ceux qui regardent les vertus attractives & répulsives comme des principes qui n'ont point de cause physique, ils ne prétendent point, sans doute, que ce soit une chose démontrée ; ce n'est qu'une supposition qu'ils établissent sur des vraisemblances & des probabilités. S'il étoit vrai que l'on n'eût pas des raisons plus fortes pour admettre l'air subtil, j'aurois encore à dire, hypothèse pour hypothèse, je crois qu'il est plus sûr de raisonner sur des principes méchaniques & bien intelligibles, que de s'appuyer sur des nouveautés qui ne se présentent pas sous des idées familiéres à l'esprit.

Au reste, le principe des attractions, dans le détail des phénoménes, a-t-il donc des applications aussi heureuses qu'on pourroit se l'imaginer ? Il a beaucoup perdu de sa simplicité, en passant des mains de M. Newton dans celles de ses disciples. Dans les mou-

VIII. LEÇON.

vemens céleſtes cette force agiſſant en raiſon directe des maſſes, & en raiſon inverſe du quarré de la diſtance, ſuffit preſque à tout, & fournit des raiſons pour expliquer ces grandes révolutions qui animent l'univers : rien n'eſt ſi beau. Mais quand il s'agit des phénoménes ſublunaires, de ces effets que nous voyons de plus près, & dont l'examen nous eſt plus facile, la vertu attractive eſt un Protée qui change ſouvent de forme. Les rochers & les montagnes ne donnent aucun ſigne ſenſible d'attraction (*a*). » C'eſt, dit-on, que ces petites attrac- » tions particuliéres ſont comme ab- » ſorbées par celle du globe terreſtre » qui eſt infiniment plus grande. » Cependant on nous donne, comme un effet de la vertu attractive, la mouſſe qui flotte ſur une taſſe de caffé, & qui ſe porte avec une précipitation très-ſenſible vers les bords du vaſe. » Plus les parties d'un corps ſe tou- » chent, plus elles s'attirent. » Pour-

(*a*) Depuis que ceci eſt écrit, M. Bouguer a cru reconnoître quelque ſigne d'attraction dans les montagnes. Voyez ſon livre *de la Figure de la terre*, p. 364. *& ſuiv.*

quoi donc, lorſqu'on les approche davantage, en les comprimant, tendent-elles pour la plûpart à ſe remettre comme elles étoient avant la compreſſion ? (j'entends une compreſſion égale de toute part, qui ne change que la grandeur, & non la figure). « C'eſt qu'après s'être attirées, autant qu'elles le peuvent, » elles ſe repouſſent mutuellement. » Pourquoi les vapeurs dilatées ont-elles tant de force ? « C'eſt que les » parties qui s'attiroient, ſous l'état » de liqueur, ſe repouſſent avec violence ſous celui de vapeurs. » Puiſque la vertu attractive eſt une force répartie à tout ce qui eſt matiére, pourquoi certains corps, comme l'eau & l'huile, ne peuvent-ils point s'unir enſemble ? « C'eſt qu'il y a des » matiéres qui ſe repouſſent naturellement, &c.

Ce langage eſt-il bien celui d'une bonne Phyſique ? & ne devons-nous pas craindre, qu'en nous y accoutumant, & qu'en mettant ainſi les attractions & répulſions à toutes ſortes d'uſage, on ne ſe diſpenſe trop légé-

VIII. LEÇON. rement des recherches si nécessaires aux progrès de nos connoissances, & qu'on ne s'interdise de cette maniére plusieurs découvertes qui en seroient le fruit ?

Fin du second Tome.



TABLE

TABLE DES MATIERES

Contenues dans le ſecond Volume.

V. LEÇON.

Sur le Mouvement composé, & ſur les Forces centrales.

VI. LEÇON.

VII. LEÇON.

Sur l'Hydroſtatique. 227.

VIII. LEÇON.

Fin de la Table des Matiéres.

Extrait des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences, du 28 Juin 1743.

MEſſieurs DE REAUMUR & DE FOUCHY ayant examiné, par ordre de l'Académie, les huit premieres Leçons de Phyſique expérimentale de M. l'Abbé Nollet, & en ayant fait leur rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impreſſion. En foi de quoi j'ai ſigné le préſent Certificat. A Paris, le 22 Juillet 1743.

DORTOUS DE MAIRAN, Séc. perp. de l'Acad. Royale des Sciences.

PRIVILEGE DU ROI.

LOUIS, par la grace de Dieu, Roi de France & de Navarre : A nos amés & féaux Conſeillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand-Conſeil, Prévôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Juſticiers qu'il appartiendra, SALUT. Nos bien amés LES MEMBRES DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES de notre bonne Ville de Paris, nous ont fait expoſer qu'ils auroient beſoin de nos Lettres de Privilége pour l'impreſſion de leurs Ouvrages : A CES CAUSES, voulant favorablement traiter les Expoſans, Nous leur avons permis & permettons par ces Préſentes de faire imprimer par tel Imprimeur qu'ils voudront choiſir, toutes les Recherches ou Obſervations journalieres, ou Relations annuelles de tout ce qui aura été fait dans les Aſſemblées de ladite Académie Royale des Sciences, les Ouvrages, Mémoires ou Traités de chacun des Particuliers qui la compoſent, & généralement tout ce que ladite Académie voudra faire paroître, après avoir fait examiner leſdits Ouvrages, & jugé qu'ils ſont dignes de l'impreſſion, en tels volumes, forme, marge, caracteres, conjointement ou ſéparément, & autant de fois que bon leur ſemblera, & de les faire vendre & débiter

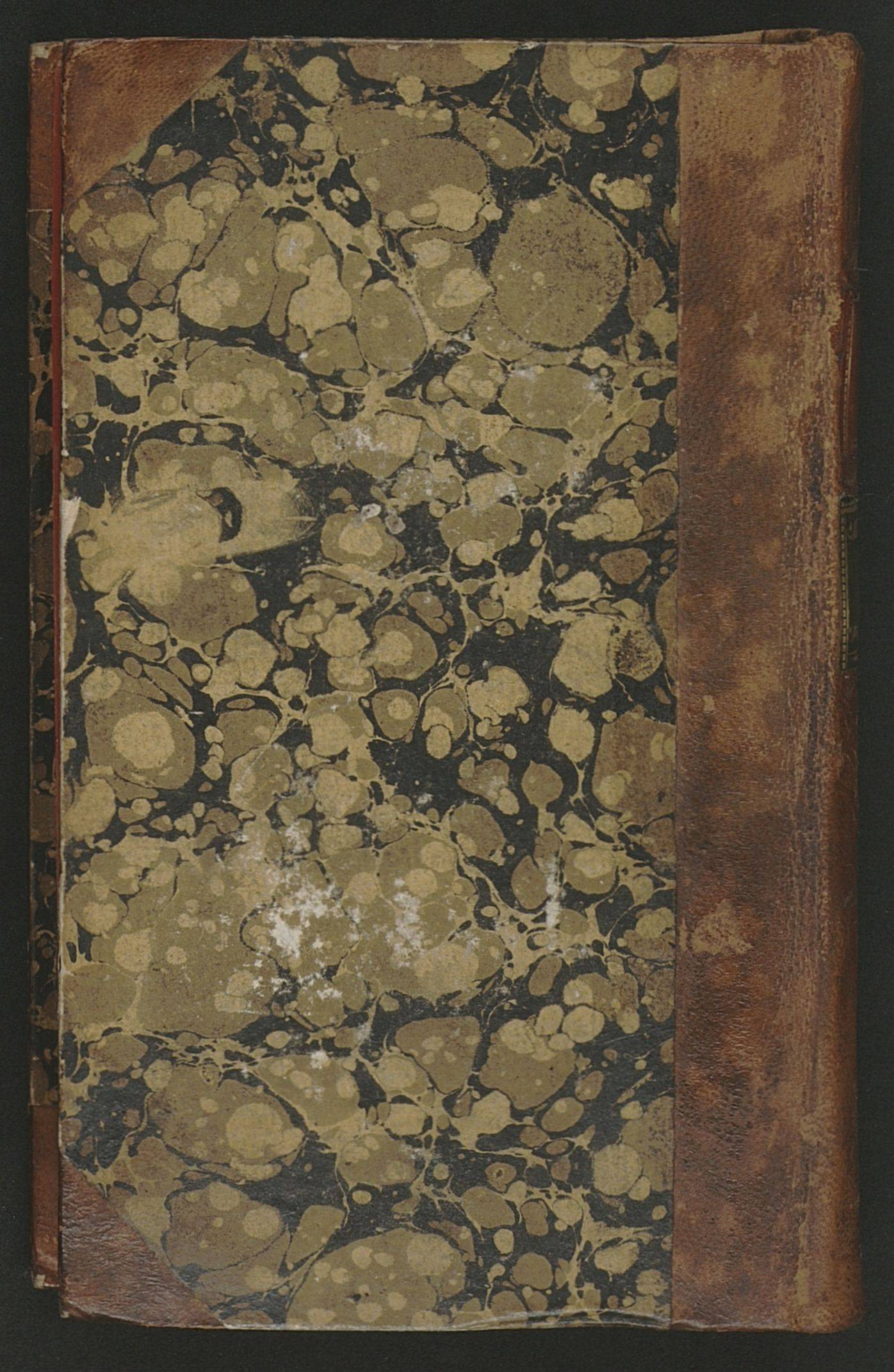
par tout notre Royaume, pendant le tems de vingt années consécutives à compter du jour de la date des Présentes; sans toutefois qu'à l'occasion des Ouvrages ci-dessus spécifiés il en puisse être imprimé d'autres qui ne soient pas de ladite Académie: Faisons défenses à toutes sortes de personnes, de quelque qualité & condition qu'elles soient, d'en introduire d'impression étrangere dans aucun lieu de notre obéissance; comme aussi à tous Libraires & Imprimeurs d'imprimer ou faire imprimer, vendre, faire vendre & débiter lesdits Ouvrages, en tout ou en partie, & d'en faire aucunes traductions ou extraits, sous quelque prétexte que ce puisse être, sans la permission expresse & par écrit desdits Exposans, ou de ceux qui auront droit d'eux, à peine de confiscation des Exemplaires contrefaits, de trois mille livres d'amende contre chacun des contrevenans; dont un tiers à Nous, un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, & l'autre tiers auxdits Exposans, ou à celui qui aura droit d'eux, & de tous dépens, dommages & intérêts; à la charge que ces Présentes seront enregistrées tout au long sur le Registre de la Communauté des Libraires & Imprimeurs de Paris, dans trois mois de la date d'icelles; que l'impression desdits Ouvrages sera faite dans notre Royaume, & non ailleurs, en bon papier & beaux caracteres, conformément aux Reglemens de la Librairie; qu'avant de les exposer en vente, les Manuscrits ou Imprimés qui auront servi de copie à l'impression desdits Ouvrages seront remis ès mains de notre très-cher & féal Chevalier le sieur DAGUESSEAU, Chancelier de France, Commandeur de nos Ordres; & qu'il en sera ensuite remis deux Exemplaires dans notre Bibliothéque publique, un en celle de notre Château du Louvre, & un en celle de notredit très-cher & féal Chevalier le sieur DAGUESSEAU, Chancelier de France, le tout à peine de nullité desdites Présentes: du contenu desquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir lesdits Exposans & leurs ayans cause pleinement & paisiblement, sans souffrir qu'il leur soit fait aucun trouble ou empêchement. Voulons que la copie des Presentes, qui sera imprimée tout au long, au commencement ou à la fin desdits Ouvrages, soit tenue pour duement signifiée, & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés, féaux Conseillers & Sécretaires, foi soit ajoûtée comme à l'Original. Commandons au premier notre Huissier ou Sergent sur ce requis, de faire

pour l'exécution d'icelles, tous actes requis & néceſſaires, ſans demander autre permiſſion, nonobſtant Clameur de Haro, Charte Normande, & Lettres à ce contraires: CAR tel eſt notre plaiſir. DONNE' à Paris le dix-neuvieme jour du mois de Février, l'an de grace mil ſept cens cinquante & de notre Regne le trente-cinquiéme. Par le Roi en ſon Conſeil.

Signé, MOL.

Regiſtré ſur le Regiſtre XII. de la Chambre Royale & Syndicale des Libraires & Imprimeurs de Paris, N. 430. Fol. 309. conformément au Réglement de 1723 qui fait défenſes, article 4. à toutes perſonnes, de quelque qualité & condition qu'elles ſoient, autres que les Libraires & Imprimeurs, de vendre, débiter & faire afficher aucuns Livres pour les vendre, ſoit qu'ils s'en diſent les Auteurs ou autrement; à la charge de fournir à la ſuſdite Chambre huit Exemplaires de chacun, preſcrits par l'art. 108. du même Réglement. A Paris, le 5 Juin 1750.

Signé, LE GRAS, Syndic.



PHYSIQUE
DE
NOLLET

TOM: II



inches 4 3 2 1 0

centimeters 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (A)	12	13	14	15
L*	39.12	65.43	49.87	44.26	55.56	70.82	63.51	39.92	52.24	97.06	92.02	87.34	82.14	72.06	62.15
a*	13.24	18.11	-4.34	-13.80	9.82	-33.43	34.26	11.81	48.55	-0.40	-0.60	-0.75	-1.06	-1.19	-1.07
b*	15.07	18.72	-22.29	22.85	-24.49	-0.35	59.60	-46.07	18.51	1.13	0.23	0.21	0.43	0.28	0.19
Density										0.04	0.09	0.15	0.22	0.36	0.51

D50 Illuminant, 2 degree observer

Golden Thread

	16 (M)	17	18 (B)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
L*	49.25	38.62	28.86	16.19	8.29	3.44	31.41	72.46	72.95	29.37	54.91	43.96	82.74	52.79	50.87
a*	-0.16	-0.18	0.54	-0.05	-0.81	-0.23	20.98	-24.45	16.83	13.06	-38.91	52.00	3.45	50.88	-27.17
b*	0.01	-0.04	0.60	0.73	0.19	0.49	-19.43	55.93	68.80	-49.49	30.77	30.01	81.29	-12.72	-29.46
Density	0.75	0.98	1.24	1.67	2.04	2.42									

Colors by Munsell Color Services Lab

Don Williams